

Abstract

A method for manufacturing the monolithic capillary X-ray lens, comprising the steps of Drawing a hollow glass raw-tube into monocapillaries in a heating furnace by a drawing tower; Stacking monocapillaries into a symmetric mould to form a multibundle; Feeding the multibundle into the heating furnace to be heated at uniform speed or variable speed; Drawing the multibundle by a drawing tower at uniform speed and variable speed to form a first integrated lens billet; Cutting the monolithic lens billet into desired shape according to usage to form said first monolithic capillary X-ray lens. A monolithic capillary X-ray lens produced by using said method comprises a plurality of X-ray channels passing from one end through another end, and is a single glass solid formed by melting together the walls themselves of said X-ray channels. An X-ray diffractometer employing said lens comprises an X-ray source, a sample, a detector, a high voltage power supply, an amplifier, a pulse analyzer, a scaler, a ratemeter, a computer, an X-ray source control system and a goniometer, wherein the monolithic capillary X-ray lens are disposed between the X-ray source and the sample and/or between the sample and the detector.



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenl gungsschrift**
⑩ **DE 197 05 732 A 1**

⑤① Int. Cl.⁸:
G 21 K 1/00
G 21 K 1/06
C 03 B 37/025
C 03 B 37/15
C 03 B 37/16

②① Aktenzeichen: 197 05 732.2
②② Anmeldetag: 14. 2. 97
②③ Offenlegungstag: 30. 10. 97

DE 197 05 732 A 1

③⑩ Unionspriorität:

96101194.7 17.02.96 CN

⑦① Anmelder:

China Aerospace Corp., Peking/Pei-ching, CN;
Beijing Normal University, Peking/Pei-ching, CN

⑦④ Vertreter:

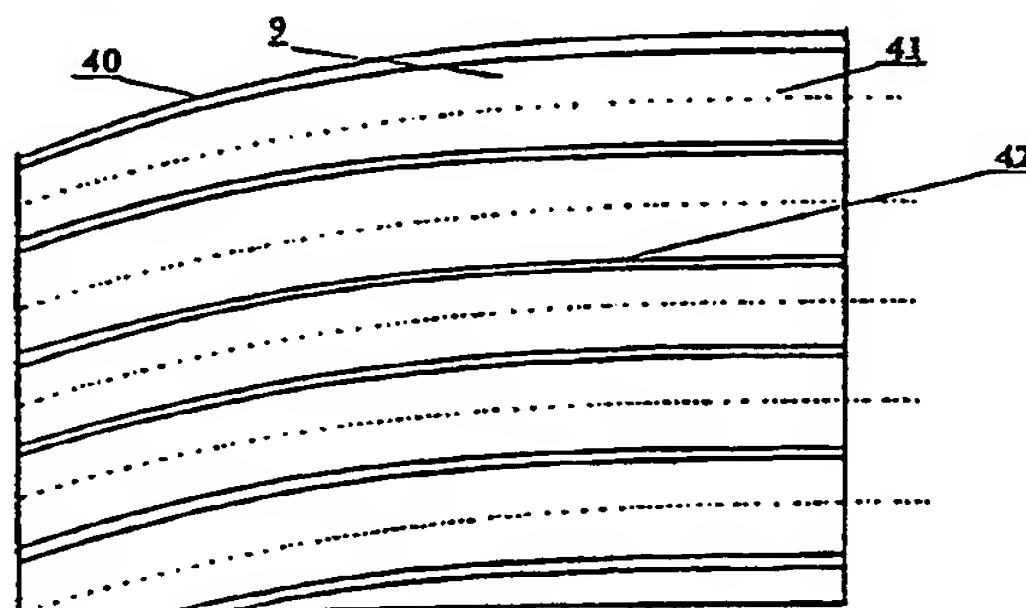
Haft, von Puttkamer, Berngruber, Czybulka, 81669
München

⑦② Erfinder:

Yan, Yiming, Beijing, CN; He, Yejun, Beijing, CN;
Ding, Xunliang, Beijing, CN; Wang, Dachun, Beijing,
CN; Liu, Andong, Beijing, CN; Chen, Baozhen,
Beijing, CN; Wie, Fuzhong, Beijing, CN

⑤④ Verfahren zur Herstellung von monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linsen, monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse und eine solche Linse verwendende Einrichtungen

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse 2, bei dem ein hohles rohes Glasrohr in einem Heizofen durch eine Zieheinrichtung zu Monokapillaren gezogen wird. Die Monokapillaren werden in einer symmetrischen Form gestapelt, um ein Mehrfachbündel zu bilden. Das Mehrfachbündel wird in den Heizofen zugeführt, um es mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit oder einer variablen Geschwindigkeit zu erhitzen. Das Mehrfachbündel wird durch eine Zieheinrichtung mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit und einer variablen Geschwindigkeit gezogen, um einen ersten integrierten Linsenblock zu bilden. Der monolithische Linsenblock wird auf die gewünschte Form entsprechend seiner Anwendung geschnitten, um die erste monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse 2 zu bilden. Eine nach diesem Verfahren hergestellte monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse 2 umfaßt eine Mehrzahl von Röntgenstrahl-Kanälen 9, die von einem Ende zum anderen Ende verlaufen. Die Linse 2 weist die Form eines einzigen Glas-Festkörpers auf, der durch Verschmelzen der Wände der Röntgenstrahl-Kanäle 9 mit sich selbst gebildet wird.



DE 197 05 732 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer optischen Steuereinrichtung für Röntgenstrahlen, eine optische Steuereinrichtung für Röntgenstrahlen und diese verwendende Einrichtungen.

Von Kumakhov wurden einige Verfahren zum Fokussieren von Röntgenstrahlen vorgeschlagen, die auf dem bekannten Prinzip basieren, daß ein Röntgenstrahl durch eine einzige oder mehrere Reflexionen an glatten Oberflächen übertragen werden kann, wobei eines dieser Verfahren als Röntgenstrahl-Führung eine Kombination einer Mehrzahl von Kanälen anwendet, die unter großen Winkeln divergierende Röntgenstrahlen zum Konvergieren bringen. Die Fokussiereinrichtung für die Röntgenstrahlen, die nach dem oben erwähnten Verfahren arbeitet, wird dadurch gebildet, daß eine Mehrzahl von Röntgenstrahl-Führungskanälen durch einen metallischen Rahmen unter festen Abständen verlaufen. Eine derartige Röntgenstrahl-Fokussiereinrichtung weist drei Nachteile auf. Erstens wird sie durch den Zusammenbau einer Mehrzahl von einzelnen Kanälen gebildet. Aus diesem Grunde ist ihre Struktur lose und beim Gebrauch und beim Transport Beschädigungen unterworfen. Zweitens bestehen große Abstände zwischen den Kanälen und sind die Kanäle sehr lang. Aus diesem Grunde ist die Wirksamkeit der Röntgenstrahl-Übertragung solcher Fokussiereinrichtungen für Röntgenstrahlen sehr klein. Schließlich macht diese Zusammenbauart die gesamte Fokussiereinrichtung sperrig und unbequem beim Gebrauch. In vielen Situationen kann sie auch nicht der Anforderung an eine hohe Intensität der Röntgenstrahlung gerecht werden.

In der US-PS 5,192,869 ist eine Einrichtung zur Steuerung von Strahlen von Partikeln, Röntgenstrahlen und Gammaquanten beschrieben, die eine Mehrzahl von Kanälen aufweist, die Innenflächen besitzen, die mehrere externe Totalreflexionen bewirken, wobei die eingangsseitigen dicken Endstücke einer Strahlungsquelle zugewandt sind und die ausgangssseitigen dicken Endstücke auf einen Strahlungsempfänger gerichtet sind. Die Kanäle sind durch kanalbildende Elemente geformt, die entlang von Erzeugenden von imaginär gesteuerten Flächen angeordnet sind. Diese kanalbildenden Elemente sind relativ zueinander starr an mehreren Orten mit der Hilfe einer starren Trägerstruktur angeordnet. Die Mehrzahl der Kanal-Trägereinrichtungen sind entlang der Kanäle montiert, wobei der Abstand der Trägerteile voneinander kleiner ist oder gleich dem Abstand, an dem eine Durchbiegung bzw. ein Durchhängen der kanalbildenden Elemente eine Strahlausbreitung für das Strahlungsspektrum zu stören beginnt, für das ein hoher Wirkungsgrad der Übertragung gewünscht wird. Dabei werden die starren Trägerstrukturen dadurch gebildet, daß die Wände der Kanäle starr durch bzw. an ihren Außenflächen miteinander verbunden werden. Aus der genannten US-Patentschrift geht jedoch nicht ein Verfahren zur Herstellung der Einrichtung hervor. Es ist für einen Fachmann schwierig, diese Einrichtung herzustellen, weil ihm kein spezielles Herstellungsverfahren bekannt ist. Außerdem besteht noch der Wunsch nach einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse, deren Struktur kompakter und kleiner ist und die eine hohe mechanische Festigkeit und einen hohen Wirkungsgrad der Röntgenstrahlübertragung aufweist.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, ein Verfahren zur Herstellung einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse anzugeben.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse anzugeben, die eine kompakte und kleine Struktur besitzt, eine hohe mechanische Festigkeit und einen hohen Wirkungsgrad der Röntgenstrahlübertragung aufweist und nach dem eingangs genannten Verfahren hergestellt ist.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin eine optische Einrichtung zu schaffen, die diese monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse verwendet.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse, das die folgenden Schritte umfaßt:

- 1) Ziehen eines hohlen rohen bzw. unbearbeiteten Glasrohres zu Monokapillaren in einem Heizofen durch eine Zieheinrichtung, insbesondere in einem Ziehturm.
- 2) Stapeln von Monokapillaren in einer symmetrischen Form zur Bildung eines ersten Mehrfachbündels.
- 3) Zuführen des Mehrfachbündels in einen Heizofen, so daß es bei einer gleichmäßigen Geschwindigkeit oder einer variablen Geschwindigkeit erhitzt wird.
- 4) Ziehen des Mehrfachbündels durch eine Zieheinrichtung, insbesondere in einem Ziehturm mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit und einer variablen Geschwindigkeit zur Bildung eines ersten integrierten Linsenblocks.
- 5) Schneiden des monolithischen Linsenblocks in die gewünschte Form entsprechend der beabsichtigten Verwendung zur Bildung der monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse.

Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse, das die folgenden Schritte umfaßt:

- 1) Ziehen eines hohlen rohen bzw. unbearbeiteten Glasrohres zu Monokapillaren in einem Heizofen durch eine Zieheinrichtung, insbesondere in einem Ziehturm.
- 2) Stapeln von Monokapillaren in eine symmetrischen Form zur Bildung eines ersten Mehrfachbündels.
- 3) Ziehen des zuvor genannten ersten Mehrfachbündels nach dem Verfahren gemäß Schritt 1) zur Bildung einer Mehrkanal-Kapillare eines kleineren Durchmessers oder eines Durchmessers über die Seiten, die im folgenden als zweite Mehrfachkapillaren bezeichnet werden.
- 4) Bilden eines zweiten Mehrfachbündels durch Anwenden desselben Verfahrens gemäß Schritt 2) mit den ersten Mehrfachkapillaren.
- 5) Zuführen des zweiten Mehrfachbündels in den Heizofen zur Erhitzung bei einer gleichmäßigen Geschwindigkeit und einer variablen Geschwindigkeit.
- 6) Ziehen des zweiten Mehrfachbündels durch eine Zieheinrichtung, insbesondere in einem Ziehturm mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit und mit

einer variablen Geschwindigkeit zur Bildung eines zweiten integrierten monolithischen Linsenblockes;

7) Schneiden des zweiten monolithischen Linsenblockes in eine gewünschte Form entsprechend der Anwendung zur Bildung einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse, wobei zwischen dem Schritt 1) und dem Schritt 6) durch wiederholte N-malige Anwendung des in den oben genannten Schritten 2) bis 5) genannten Verfahrens entsprechend der Anwendung eine (N+2)te monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse geformt werden kann, wobei N eine positive ganze Zahl größer als 0 ist.

Die vorliegende Erfindung betrifft außerdem eine monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse, die eine Mehrzahl von Röntgenstrahl-Führungskanälen, die von einem Ende bis zum anderen Ende verlaufen, aufweist und die ein einziger Glas-Festkörper ist, der durch Zusammenschmelzen der Wände der Röntgenstrahl-Führungskanäle gebildet ist.

Röntgenstrahlen können sich von einem Ende zum anderen Ende des Glas-Festkörpers mit der Hilfe der Totalreflexion der Innenwände der Röntgenstrahl-Kanäle ausbreiten und die Ausbreitungsrichtung der Röntgenstrahl-Führung kann durch unterschiedliche Formen und Größen des Glas-Festkörpers und der Röntgenstrahl-Führungskanäle verändert werden. Die Röntgenstrahl-Linse der vorliegenden Erfindung umfaßt eine monolithische kapillare fokussierende Röntgenstrahl-Linse zur Steuerung der Röntgenstrahlung in einem weiten Wellenlängenbereich und zum Fokussieren der Röntgenstrahlung in einen sehr kleinen Strahlenbündelpunkt und eine monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel zur Umwandlung einer Röntgenstrahlung in quasi parallele Strahlen. Andererseits betrifft die Erfindung eine monolithische kapillare Röntgenstrahlen-Linse, die ein quasi paralleles Strahlenbündel in einen sehr kleinen Strahlenbündelpunkt fokussiert.

Die Erzeugenden der Längsprofile der Linse und die Profilerzeugenden der Röntgenstrahl-Führungskanäle und die Achsen der Röntgenstrahl-Führungskanäle sind annähernd Segmente von räumlichen Kegelschnitten, von Kombinationen von Segmenten von Kegelschnitten oder von Kombinationen von Segmenten von Kegelschnitten und geraden Linien. Die radialen Änderungen der Profilerzeugenden der Linse und diejenigen der Röntgenstrahl-Führungskanäle sind in Bezug auf die imaginäre Achse der Röntgenstrahlung symmetrisch. Auf diese Weise kann eine vernünftige Linsenstruktur erhalten werden und kann der Verlust an Röntgenstrahlung während des Reflexionsprozesses in den Kanälen verringert werden. Dadurch wird der Wirkungsgrad der Übertragung der Röntgenstrahlung verbessert.

Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Röntgenstrahl-Fluoreszenzspektrometer, in dem die oben genannte monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse verwendet ist, und das eine Röntgenstrahl-Quelle, eine Probe, eine Röntgenstrahl-Linse, die zwischen der Röntgenstrahl-Quelle und der Probe angeordnet ist, einen Detektor, einen Verstärker und eine PC gestützte Multianalysiereinrichtung aufweist. Dabei handelt es sich bei der Röntgenstrahl-Linse, die zwischen der Röntgenstrahl-Quelle und der Probe angeordnet ist, um die monolithische kapillare fokussierende Röntgenstrahl-Linse. Die von der Röntgenstrahl-Quelle in einem

beträchtlich großen Raumwinkel ausgesendeten Röntgenstrahlen werden durch die monolithische kapillare fokussierende Röntgenstrahl-Linse gesammelt und fokussiert, so daß sie einen Mikropunkt des Röntgenstrahlenbündels einer hohen Leistungsdichte bilden und auf die zu messende Probe fokussiert werden. Nachdem die Elemente in der Probe aktiviert sind, fällt der ausgesendete charakteristische Röntgenstrahl auf den Detektor. Das Ausgangssignal vom Detektor wird durch den Verstärker verstärkt und dann durch die PC gestützte Multianalysiereinrichtung analysiert und gespeichert.

Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Röntgenstrahl-Diffraktometer mit der monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse, das eine Röntgenstrahl-Quelle, eine Probe, eine Röntgenstrahl-Linse, einen Detektor, eine Hochspannungsquelle, einen Verstärker, eine Puls-Analysiereinrichtung, eine Skaliereinrichtung, eine Raten-Meßeinrichtung, einen PC, ein Röntgenstrahl-Steuersystem und ein Goniometer aufweist. Dabei ist die monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse für einen quasi paralleles Strahlenbündel zwischen die Röntgenstrahl-Quelle und die Probe eingesetzt und/oder ist die monolithische kapillare fokussierende Röntgenstrahl-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel zwischen die Probe und den Detektor eingesetzt. Die durch die Röntgenstrahl-Quelle ausgesendeten Röntgenstrahlen werden durch die monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel gesammelt und in quasi parallele Röntgenstrahlen umgewandelt, die dann auf die Probe zur Erzeugung gebeugter bzw. abgelenkter Röntgenstrahlen auftreffen. Die gebeugten Röntgenstrahlen werden ferner durch die monolithische kapillare, das quasi parallele Strahlenbündel fokussierende Röntgenstrahl-Linse gesammelt und auf den Detektor fokussiert. Das Ausgangssignal von dem Detektor wird über den Verstärker und die Puls-Analysiereinrichtung zur weiteren Verarbeitung an den PC gesendet.

Die vorliegende Erfindung betrifft ferner eine Röntgenstrahl-Lithographieeinrichtung zum Lithographieren im Submikrometerbereich, die die monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse verwendet, und eine weiche Puls-Plasma-Röntgenstrahl-Quelle, einen Stepper mit Masken und Wafer-Schichten, eine Vakuumeinrichtung und zugeordnete Leistungsquellen und Steuersysteme umfaßt, wobei die monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel zwischen der Röntgenstrahl-Quelle und dem Stepper angeordnet ist. Die von der Röntgenstrahl-Quelle ausgesendeten Röntgenstrahlen werden durch die monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel gesammelt, um ein quasi paralleles Röntgenstrahlenbündel mit einer gleichmäßig großen Belichtungsfläche zu bilden und auf den Stepper zu projizieren. Das quasi parallele Röntgenstrahlbündel wird durch die Maske übertragen und überträgt die Muster der Maske auf die Resistschicht auf den Waferscheiben. Dadurch wird eine Belichtungsoperation für eine Lithographie im tiefen Submikrometerbereich ausgeführt.

Im folgenden werden die Erfindung und deren Ausgestaltungen im Zusammenhang mit den Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Aufbaus einer monolithischen kapillaren fokussierenden Röntgenstrahl-Linse;

Fig. 2 eine axiale Schnittdarstellung der monolithischen kapillaren fokussierenden Röntgenstrahl-Linse;

Fig. 3 eine vergrößerte Teildarstellung des Bereiches

C der Fig. 2;

Fig. 4 eine schematische Darstellung des Aufbaus einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel;

Fig. 5 eine axiale Schnittdarstellung einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel;

Fig. 6 eine vergrößerte Teildarstellung des Bereiches C der Fig. 5;

Fig. 7 eine schematische Darstellung eines Querschnittes entlang der Linie A-A der Fig. 1 und 4 eines regelmäßigen Sechsecks;

Fig. 8 eine schematische Darstellung eines kreisförmigen Querschnittes entlang der Linie A-A der Fig. 1 und 4;

Fig. 9 eine schematische Darstellung eines rechteckigen Querschnittes entlang der Linie A-A der Fig. 1 und 4;

Fig. 10 eine schematische Darstellung des Aufbaus der Kombination einer monolithischen kapillaren fokussierenden Röntgenstrahl-Linse und einer Führungskapillare;

Fig. 11 eine schematische Darstellung der Struktur der konischen Führungskapillare der Fig. 10;

Fig. 12 eine schematische Darstellung der Struktur der Führungskapillare der Fig. 10, die aus zwei Teilen von rotierenden Ellipsoiden gebildet ist;

Fig. 13 eine schematische Darstellung der Struktur der Führungskapillare der Fig. 10, die aus zwei Teilen von rotierenden Paraboloiden gebildet ist;

Fig. 14 eine schematische Darstellung der Struktur der Kombination einer monolithischen fokussierenden Röntgenstrahl-Linse und einer Apertur;

Fig. 15 eine schematische Darstellung der Struktur der umgekehrten Form einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel, d. h. eine monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse, die ein quasi paralleles Strahlenbündel fokussiert;

Fig. 16 ein schematisches Blockschaltbild eines Röntgenstrahl-Fluoreszenzspektrometers mit einer monolithischen kapillaren fokussierenden Röntgenstrahl-Linse;

Fig. 17 ein schematisches Blockschaltbild einer Röntgenstrahl-Beugungsmesseinrichtung mit einer monolithischen Röntgenstrahl-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel und

Fig. 18 ein schematisches Blockschaltbild einer Röntgenstrahl-Lithographieeinrichtung zum Lithographieren im Submikrometerbereich mit einer monolithischen Röntgenstrahl-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel.

Die Fig. 1, 2 und 3 zeigen das Prinzip des Aufbaus der monolithischen kapillaren fokussierenden Röntgenstrahl-Linse, wobei die Größen des Einfallsbereiches und Ausgangsbereiches der monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse kleiner sind als die Größe des maximalen Querschnittes der Linse. Die Erzeugende 40 des Längsprofils der Linse 2 und die Profilerzeugenden 42 der Röntgenstrahl-Führungskanäle 9 und die Achsen 41 der Röntgenstrahl-Führungskanäle sind annähernd Segmente von räumlichen Kegelschnitten oder Kombinationen von Segmenten von Kegelschnitten oder geraden Linien. Die radialen Änderungen der Profilerzeugenden 42 der Linsen 2 und der Profilerzeugenden 40 der Röntgenstrahl-Führungskanäle sind in Bezug auf die imaginäre Achse 3 des Röntgenstrahles symmetrisch. Die Fig. 7, 8 und 9 zeigen drei schematische

Schnittdarstellungen, die den Querschnitt in der Richtung A-A einer monolithischen kapillaren fokussierenden Röntgenstrahl-Linse 2, d. h. ein regelmäßiges Sechseck, einen Kreis und ein Rechteck zeigen. In den oben genannten Figuren bezeichnet 1 die Röntgenstrahl-Quelle. 2 bezeichnet die monolithische kapillare fokussierende Röntgenstrahl-Linse. 3 bezeichnet die imaginäre Röntgenstrahl-Achse der Linse. 4 bezeichnet den Brennpunkt des Röntgenstrahls. 5 bezeichnet den auf die Linse 2 einfallenden Röntgenstrahl. 6 bezeichnet den von der Linse 2 auf den Brennpunkt 4 fokussierten Röntgenstrahl. 7 bezeichnet den Detektor. Schließlich bezeichnet 9 den Röntgenstrahl-Führungskanal. Eine starre Festkörperumhüllung 8 umgibt den Umfang der Linse 2, um Nachteile der inneren Struktur der Linse zu beseitigen, um die optische Funktion der Linse zu verbessern und um ihre mechanische Festigkeit zu vergrößern. Der Abstand von der Röntgenstrahl-Quelle 1 zu dem Einfallsende der Linse 2, d. h. die Brennweite f_1 , beträgt etwa 10 mm bis 200 mm. Der Abstand vom Ausfallende der Linse 2 zum Brennpunkt 4, d. h. die Brennweite f_2 , beträgt 10 mm bis 500 mm. Die Länge der Linse 2 beträgt 25 mm bis 200 mm. Die Größe des Einfallsendes D_{in} der Linse beträgt 1 mm bis 30 mm. Dies ist bei kreisförmigen Linsen der Durchmesser, bei regelmäßigen Polygonen der Abstand zwischen zwei gegenüberliegenden Seiten und bei Rechtecken die minimale Länge zwischen zwei gegenüberliegenden Seiten. Die Größe des Ausfallendes D_{out} der Linse beträgt 1 mm bis 35 mm. Der Öffnungsbereich ist größer als 5%.

Die Änderungen der Größe des Innenradius des Röntgenstrahl-Führungskanals 9 und die Änderungen der Größe des Querschnittes der Linse 2 sind kontinuierlich und zueinander synchron. Dies bedeutet, daß dann, wenn der Querschnitt der Linse 2 klein ist, der Innenradius des Röntgenstrahl-Führungskanals ebenfalls klein ist, und daß dann, wenn die Größe des Querschnittes der Linse 2 ihr Maximum D_{max} erreicht, der Innenradius des Röntgenstrahl-Führungskanals 9 ebenfalls sein Maximum aufweist.

Zur Verbesserung des Wirkungsgrades der Übertragung der peripheren Führungskanäle der monolithischen kapillaren fokussierenden Röntgenstrahl-Linse, ist die Größe der Röntgenstrahl-Führungskanäle 9 an verschiedenen Positionen des Querschnittes senkrecht zur Röntgenstrahl-Achse 3 der Linse unterschiedlich. Beispielsweise weist der Röntgenstrahl-Führungskanal 9 in der Nähe der Röntgenstrahl-Achse 3 eine größere Größe auf während der Röntgenstrahl-Führungskanal 9, der von der Röntgenstrahl-Achse 3 entfernt ist, eine kleinere Größe besitzt.

Nachfolgend werden zwei Beispiele für monolithische kapillare fokussierende Röntgenstrahl-Linsen gegeben. Die erste monolithische kapillare fokussierende Röntgenstrahl-Linse besteht aus zwei zusammengesetzten Ziehtteilen, die insgesamt 250 507 Röntgenstrahl-Führungskanäle aufweisen. Die Erzeugende 40 des Längsprofils der Linse 2, die Profilerzeugenden 42 der Röntgenstrahl-Führungskanäle 9 und die Achsen 41 der Röntgenstrahl-Führungskanäle 9 werden durch Kombinationen von geraden Liniensegmenten, Liniensegmenten von Rotationsellipsoiden, geraden Liniensegmenten, Liniensegmenten von Rotationsellipsoiden und Liniensegmenten gebildet. Die Länge der Linse 1 beträgt 50 mm. Die Linse weist einen Querschnitt eines gleichmäßigen Sechsecks auf, wobei der Abstand zwischen zwei entgegengesetzten Seiten $D_{in} = 6,7$ mm an dem Einfallsende und $D_{out} = 5,2$ mm am Ausgangsende und

$D_{\max} = 7,4$ mm am maximalen Querschnitt der Linse beträgt. Die Brennweite f_1 beträgt 44 mm. Die Brennweite f_2 beträgt 33 mm. Der Röntgenstrahl-Sammelwinkel ω beträgt 150 mrad. Bei der Verwendung eines Röntgenstrahles von 8,04 KeV der von einer isotropen Röntgenstrahl-Quelle mit einem punktförmigen Strahlungsfleck von 0,1 mm Durchmesser ausgesendet wird, wurde ein Wirkungsgrad der Übertragung $\eta = 5\%$ gemessen. Der Durchmesser des fokussierten Strahlenbündelpunktes $S = 157$ μm . Die Verstärkung der Linse beträgt $K = 760$ und der äquivalente Abstand $L_{\text{eq}} = 4,6$ mm.

Die zweite monolithische kapillare fokussierende Röntgenstrahl-Linse wird durch ein zusammengesetztes Ziehteil gebildet, das 5677 Röntgenstrahl-Führungskanäle insgesamt aufweist, wobei die Erzeugende 40 des Längsprofils, die Profilerzeugenden 42 der Röntgenstrahl-Kanäle und die Achsen 41 der Röntgenstrahl-Führungskanäle 9 denjenigen des ersten Beispiels ähnlich sind. Die Länge der Linse 1 beträgt 54 mm. Die Linse weist einen Querschnitt gemäß einem gleichmäßigen Sechseck auf. Der Abstand zwischen den gegenüberliegenden Seiten beträgt am Einfallsende $D_{\text{in}} = 6,9$ mm, am Auslaßende $D_{\text{out}} = 6,65$ mm und am maximalen Querschnitt der Linse $D_{\max} = 8,87$ mm. Die Brennweite $f_1 = 81$ mm. Die Brennweite $f_2 = 40$ mm. Der Sammelwinkel ω des Röntgenstrahls beträgt 100 mrad. Bei einem Röntgenstrahl von 3,69 KeV, der von einer isotropen punktförmigen Röntgenstrahl-Quelle mit einem Strahlenbündelpunkt von 0,2 mm Durchmesser ausgesendet wird, beträgt der gemessene Wirkungsgrad der Übertragung der Linse $\eta = 19,3\%$. Der Durchmesser des fokussierten Strahlenbündelpunktes S beträgt 260 μm . Die Verstärkung der Linse K beträgt 670. Der äquivalente Abstand L_{eq} beträgt 6,8 mm. Der oben erwähnte Wirkungsgrad η der Übertragung der Linse ist das Verhältnis des Röntgenstrahl-Flusses am Ausgang zu dem einfallenden Röntgenstrahl-Fluß. Die Größe S des fokussierten Strahlenbündelpunktes ist die Größe des fokussierten Röntgenstrahlenbündelpunktes auf dem Querschnitt senkrecht zur optischen Achse der Linse an der Brennweite f_2 . Die Verstärkung der Linse K ist das Verhältnis der Röntgenstrahl-Leistungsdichte mit einer Röntgenstrahl-Linse an der Brennweite f_2 zu der Röntgenstrahl-Leistungsdichte ohne eine Röntgenstrahl-Linse. Der äquivalente Abstand L_{eq} für isotrope Röntgenstrahl-Quellen ist der Abstand von der Röntgenstrahl-Quelle, wobei die Röntgenstrahl-Leistungsdichte des Röntgenstrahlenbündels, das direkt von der Röntgenstrahl-Quelle imitiert wird gleich der Leistungsdichte des Röntgenstrahlenbündels am Brennpunkt ist, wenn die Linse verwendet wird.

Um den fokussierten Strahlenbündelpunkt des Röntgenstrahles weiter zu minimieren, um die Leistungsdichte des Röntgenstrahles zu vergrößern, wird eine Führungskapillare 10 (siehe Fig. 10) oder eine Öffnung 12 (siehe Fig. 14) nach der monolithischen kapillaren fokussierenden Röntgenstrahl-Linse 2 hinzugefügt, so daß eine Kombination der Linse und einer Führungskapillare oder eine Kombination der Linse und einer Apertur gebildet wird. In den Fig. 11 und 12 und 13 bezeichnet das Bezugszeichen 11 einen durch die Führungskapillare fokussierten Punkt des Röntgenstrahlenbündels. Die Form der Führungskapillare 10 entspricht einer hohlen kegelschnittförmigen Führungskapillare oder einer hohlen Führungskapillare, die aus zwei Teilen von Rotationsellipsoiden gebildet ist oder einer hohlen Führungskapillare, die aus zwei Teilen von Rotationspara-

boloiden gebildet ist. In der Fig. 11 ist der fokussierte Punkt des Strahlenbündels der Linse 2 in der konischen Kapillare angeordnet. Er wird ferner zu einem kleineren Brennpunkt durch die konische Kapillare fokussiert. Der Detektor 7 ist an der Position des Brennpunktes 11 angeordnet. In der Fig. 12 ist der durch die Linse fokussierte Punkt des Strahlenbündels an dem ersten Brennpunkt des ersten Rotationsellipsoids angeordnet. Die innerhalb der ellipsoiden Führungskapillare gestreuten Röntgenstrahlen werden auf den zweiten Brennpunkt des zweiten Ellipsoids fokussiert und fallen auf den Detektor 7 von der Öffnung der Kapillare ein. In der Fig. 13 ist der von der Linse fokussierte Strahlenbündelpunkt auf der Position des Brennpunktes des ersten Rotationsparaboloids der Führungskapillare angeordnet. Die von dem Strahlenbündelpunkt ausgesendeten Röntgenstrahlen werden durch die die Form eines Paraboloids aufweisende Führungskapillare zu einem quasi parallelen Strahlenbündel reflektiert. Diese Röntgenstrahlen werden auf den Brennpunkt des zweiten Rotationsparaboloids fokussiert und fallen auf den Detektor 7 über die Kapillarenöffnung ein. Der Strahlenbündelpunkt ist durch die weitere Fokussierung der Führungskapillare 10 und durch die Begrenzung des Radius der Öffnung der Kapillare weiter verkleinert.

Gemäß Fig. 14 wird eine Apertur 12 nach der monolithischen kapillaren fokussierenden Röntgenstrahl-Linse angeordnet, so daß eine Kombination aus der Linse und der Apertur gebildet wird. Die Apertur 12 besteht aus einem Material aus mittleren oder schwereren Elementen, die dazu dienen, die Größe des Strahlenbündelpunktes des Röntgenstrahles weiter zu begrenzen, so daß der am meisten intensivste Bereich der Röntgenstrahlen am Strahlenbündelpunkt auf den Detektor 7 einfällt. Dadurch werden ein sehr viel kleinerer Strahlenbündelpunkt und eine höhere Leistungsdichte des Röntgenstrahles erhalten.

Die Fig. 4, 5 und 6 zeigen den prinzipiellen Aufbau der monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse 2 für ein quasi paralleles Strahlenbündel. Die Größe des Einfallsendes dieser Linse ist kleiner als diejenige des Auslaßendes. Die Erzeugende 40 des Längsprofils der Linse 2, die Profilerzeugenden 42 der Röntgenstrahl-Führungskanäle 9 und die Achsen 41 der Röntgenstrahl-Kanäle entsprechen annähernd den Kombinationen von Kegelschnittsegmenten und Segmenten von geraden Linien. Die radialen Änderungen der Erzeugenden 40 des Linsenprofils und der Profilerzeugenden 42 der Röntgenstrahl-Kanäle sind in Bezug auf die imaginäre Achse 3 des Röntgenstrahls symmetrisch. Die Profilerzeugende 40 des Auslaßbereiches der Linse ist parallel zur imaginären Röntgenstrahl-Achse 3 der Linse. Die Fig. 7, 8 und 9 zeigen schematische Darstellungen, die drei Querschnitte A-A der monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse 2 für ein quasi paralleles Strahlenbündel, d. h. ein gleichmäßiges Sechseck, einen Kreis und ein Rechteck, zeigen. In den oben genannten Figuren bezeichnen 1 die Röntgenstrahl-Quelle, 2 die monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel, 3 die imaginäre Röntgenstrahl-Achse der Linse, 4 den Brennpunkt des Röntgenstrahles, 5 den auf die Linse einfallenden Röntgenstrahl, 6 den aus der Linse austretenden Röntgenstrahl, 7 den Detektor und 9 die Röntgenstrahl-Kanäle. Eine Schicht aus einer starren Festkörperumhüllung 8 umgibt die Peripherie der Linse 2, um Defekte der inneren Struktur der Linse zu beseitigen, um die optische Funktion der Linse zu verbessern. Der Abstand von der Röntgenstrahl-

Quelle 1 zu dem Einfallsende der Linse 2, d. h. die Brennweite f_1 beträgt 10 mm bis 200 mm. Die Länge der Linse 1 beträgt 10 mm bis 250 mm. Die Größe des Einfallsendes D_{in} der Linse beträgt 1 mm bis 35 mm. Sie ist der Durchmesser der kreisförmigen Linse, der Abstand zwischen gegenüberliegenden Seiten einer Linse mit einem Querschnitt entsprechend einem regelmäßigen Polygon und der minimale Abstand zwischen den gegenüberliegenden Seiten einer rechteckigen Linse. Die Größe des Auslaßendes D_{out} der Linse beträgt 2 mm bis 50 mm. Der minimale Abstand vom Einfallsende der Linse bis zu dem Bereich der maximalen Größe beträgt 10 mm bis 150 mm. Der Öffnungsbereich ist größer als 10%.

Um die Gleichmäßigkeit des Röntgenstrahlbereiches am Auslaß der monolithischen kapillaren Röntgenstrahlen-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel zu verbessern, besitzen die Röntgenstrahlen-Führungskanäle 9 unterschiedliche Größen an unterschiedlichen Positionen eines Schnittes senkrecht zur Röntgenstrahl-Achse 3 der Linse. Beispielsweise besitzen die Röntgenstrahl-Kanäle 9, die näher an der Röntgenstrahl-Achse 3 angeordnet sind, größere Größen und weisen diejenigen, die weiter von der Röntgenstrahl-Achse 3 entfernt sind kleinere Größen auf. Die Röntgenstrahl-Kanäle am Einfallsende der Linse haben unterschiedliche Brennweiten. Beispielsweise ist die Röntgenstrahl-Quelle am Brennpunkt der peripheren Kanäle anstatt an dem Brennpunkt des mittleren Bereiches der Röntgenstrahl-Kanäle angeordnet.

Im folgenden wird ein Beispiel für eine monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel gegeben. Diese Linse ist durch ein zusammengesetztes Ziehteil gebildet und weist insgesamt 5677 Röntgenstrahl-Kanäle auf. Diese Linse wird durch die Kombination von Segmenten aus geraden Linien, Segmenten aus Kurven von Rotationsparaboloiden, Segmenten von Bögen und Segmenten von geraden Linien gebildet. Die Länge der Linse beträgt 44,5 mm. Die Linse weist einen Querschnitt entsprechend einem regelmäßigen Sechseck auf. Der Abstand zwischen den gegenüberliegenden Seiten am Einfallsende D_{in} beträgt 3,2 mm. Derjenige am Auslaßende D_{out} beträgt 4,2 mm. Die Brennweite f_1 ist 124 mm. Der Sammelwinkel des Röntgenstrahls $\omega = 32$ mrad. Für einen von einer isotropen Röntgenstrahl-Quelle mit einem punktförmigen Strahlenbündelfleck von 0,2 mm Durchmesser ausgesendeten Röntgenstrahl von 7,31 keV beträgt der gemessene Wirkungsgrad η der Übertragung der Linse 26,2%. Der maximale Divergenzwinkel des quasi parallelen Strahlenbündels am Ausgang von der Linse beträgt $\theta_{max} = 0,5$ mrad. Der Durchmesser des Beleuchtungsfeldes am Ort 100 mm von dem Auslaß der Linse entfernt ist 4,3 mm. Der maximale Divergenzwinkel θ_{max} der oben genannten Röntgenstrahl-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel ist der maximale Öffnungswinkel des austretenden quasi parallelen Röntgenstrahl-Bündels unter den Kanälen in dem Beleuchtungsfeld. Der Durchmesser des Beleuchtungsfeldes der Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel entspricht der Größe des durch die Linse zu einem Bereich an einem vorgegebenen Abstand von dem Auslaß der Linse und senkrecht zur optischen Achse der Linse übertragenen Fleckes des Röntgenstrahlenbündels.

Die Fig. 15 zeigt eine schematische Darstellung der Struktur der umgekehrten Form einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel, d. h. eine monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse die ein quasi paralleles Strahlenbündel

fokussiert. Die Größe des Einfallsendes dieser Linse ist größer als diejenige des Auslaßendes. Die Erzeugende des Linsenprofils des Einfallsbereiches ist parallel zur Röntgenstrahl-Achse 3 der Linse 2. Der Röntgenstrahl fällt vom parallelen Ende ein und wird zu einem divergierenden Röntgenstrahlenbündel einer hohen Energiedichte am Brennpunkt des austretenden Röntgenstrahles fokussiert. Die Größe des Einfallsendes dieser Linse D_{in} beträgt 2 mm bis 50 mm. Diejenige des Auslaßendes D_{out} der Linse beträgt 1 mm bis 35 mm. Die Länge der Linse beträgt 10 mm bis 250 mm. Der minimale Abstand zwischen dem Bereich der Linse, der die maximale Größe hat, zum Auslaßende der Linse beträgt 2 mm bis 150 mm. Der Abstand f vom Auslaßende der Linse zu dem kleinsten fokussierten Strahlenbündelfleck beträgt 10 mm bis 200 mm. Der Öffnungsbereich ist größer als 10%.

Ein Verfahren zur Herstellung dieser monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse umfaßt die folgenden Schritte:

1) Manuelles Blasen oder mechanisches Ziehen von hohlen Röhren mit einem Durchmesser von 10 mm bis 40 mm unter Verwendung einer Gruppe von Borglas als rohe bzw. unbearbeitete Röhren zur Herstellung der monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse.

2) Zuführen der gereinigten unbearbeitenden Röhren in einen Heizofen einer Temperatur von 750°C bis 950°C mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von 1 mm bis 30 mm pro Minute und kontinuierliches Ziehen der Röhren mit einer Ziehmaschine mit einer Geschwindigkeit von 1 mm bis 5 m pro Minute zu Monokapillaren mit einem Durchmesser von 0,3 mm bis 2 mm, die nach dem Schneiden auf eine feste Länge als "einzelne Führungskapillaren" bezeichnet werden.

3) Stapeln der Monokapillaren in einer polygonalen Form einer symmetrischen Form oder in einer kreisförmigen Form oder einer rechteckigen Form und Verbinden derselben zu einem polygonalen Bündel, dessen Querschnitt eine symmetrische Form aufweist, oder zu einem kreisförmigen Bündel oder zu einem rechteckigen Bündel, das als "erstes Mehrfachbündel", bezeichnet wird.

4) a. Bringen des ersten Mehrfachbündels in die Hochtemperaturzone eines Heizofens mit einer Temperatur von 750°C bis 950°C und Halten des Bündels in dieser Zone, um einen Tropfen des Bündels zu erhalten, Absenken der Temperatur und Einschalten des Zufuhrmechanismus und einer Winde nach dem Ziehen des geschmolzenen Tropfens des Bündels zu den Ziehrollen;

b. Zuführen des ersten Mehrfachbündels in den Ofen mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von 1 mm bis 30 mm pro Minute und zur selben Zeit Ziehen des Bündels in Multikapillaren mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von 1 mm bis 5 m pro Minute durch die Winde;

c. Ziehen mit einer variablen Geschwindigkeit und einer gleichmäßigen oder variablen Zufuhrgeschwindigkeit unter Anwendung verschiedener variabler Geschwindigkeiten (z. B. einer gleichmäßigen Beschleunigung, Verzögerung usw.) in dem oben genannten Bereich der Geschwindigkeiten gemäß der Anforderung an das Profil und die Größe der Linse zur Bildung von Kombinationen von

Segmenten von Kegelschnitten oder Kombinationen von Segmenten von Kegelschnitten und geraden Linien;

d. Erneutes Zuführen und Ziehen mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit in dem Bereich der oben genannten Geschwindigkeiten zur Bildung von Segmenten einer geraden Linie,

wobei ein Block einer ersten monolithischen Röntgenstrahl-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel nach der Ausführung der oben genannten Schritte erhalten werden kann;

e. Ziehen des Blockes in der umgekehrten Richtung, um einen Block einer ersten monolithischen kapillaren fokussierenden Röntgenstrahl-Linse zu erhalten;

5) Ziehen des oben genannten ersten Mehrfachbündels mit demselben Verfahren des Schrittes 2) zur Bildung von Multikanal-Kapillaren mit einem Durchmesser oder einem Durchmesser über den Seiten von 0,5 mm bis 4,0 mm, die als "erste Mehrfachkapillaren" bezeichnet werden;

6) Bilden eines zweiten Mehrfachbündels durch Anwenden desselben Verfahrens des Schrittes 3) mit den ersten Mehrfachkapillaren;

7) Bilden eines Blockes der zweiten zusammengesetzten monolithischen kapillaren Linse durch Anwenden des Verfahrens des Schrittes 4) mit dem zweiten Mehrfachbündel und

8) Schneiden des Blockes der ersten oder zweiten monolithischen kapillaren Linse in die gewünschte Form entsprechend der unterschiedlichen Anwendung zur Bildung einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahlen-Linse.

Die Verwendung der ersten oder zweiten gezogenen monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse hängt von der Anzahl der gewünschten Röntgenstrahl-Kanäle und dem Durchmesser der Kanäle ab. Das erste Formen durch Ziehen wird angewendet, wenn die geforderte Anzahl der Röntgenstrahl-Kanäle kleiner ist oder wenn der Durchmesser der Kanäle größer ist. Das zweite Formen durch Ziehen wird angewendet, wenn die geforderte Anzahl der Röntgenstrahl-Kanäle größer ist oder wenn der Durchmesser der Kanäle kleiner ist. Je nach Anforderung kann auch ein Ziehen in mehreren Schritten angewendet werden.

Ein Verfahren zur Herstellung der monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse mit einer starren Festkörperumhüllung umfaßt die folgenden Schritte:

9) Stapeln der Monokapillaren oder Mehrfachkapillaren eng in einem Glasrohr, das dieselbe Form wie das Mehrfachbündel aufweist oder Stapeln von Glasfasern derselben Größe wie die Kapillaren um den Umfang, wenn das Mehrfachbündel gestapelt wird um ein Mehrfachbündel mit einer Umhüllung zu schaffen.

10) Herstellen einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse mit einer starren Festkörperumhüllung unter Anwendung des Verfahrens, das in den oben genannten Schritten 4), 7) und 8) beschrieben wurde.

Gemäß Fig. 16 besteht ein Röntgenstrahl-Fluoreszenzspektrometer, das die monolithische kapillare fokussierende Röntgenstrahl-Linse verwendet, aus einer Röntgenstrahl-Quelle 1, einer monolithischen kapillaren fokussierenden Röntgenstrahl-Linse 2, Detektoren 7

und 7', einer Probe 13, Vorverstärkern 15 und 15', Verstärkern 16 und 16', einer PC gestützten Mehrfachanalyseinrichtung 17 und einer Raten-Meßeinrichtung 18 bzw. einem Ratemeter. 3 bezeichnet die imaginäre Röntgenstrahl-Achse der Linse 2. Der Röntgenstrahl 5, der von der Röntgenstrahl-Quelle 1 ausgesendet wird, wird gesammelt und durch die monolithische kapillare fokussierende Linse 2 fokussiert, um einen Mikrofleck des Strahlenbündels mit einem Durchmesser zu bilden, der kleiner als mehrere Millimeter ist und auf die zu untersuchende Probe 13 fokussiert wird. Die von den aktivierten Elementen in der Probe 13 emittierten charakteristischen Röntgenstrahlen 14 strahlen auf den Detektor 7. Der Ausgang von dem Detektor 7 wird nach der Verstärkung durch den Vorverstärker 15 und dem Verstärker 16 in die PC gestützte Mehrfachanalyseinrichtung 17 zur Analyse und Speicherung gesendet. Ein anderer Teil des von der Probe 13 induzierten Röntgenstrahles wird vom Detektor 7' empfangen. Das Ausgangssignal des Detektors 7' wird zu der Raten-Meßeinrichtung 18 über den Vorverstärker 15' und den Verstärker 16' zur Registrierung und Speicherung gesendet, um die Intensität der Röntgenstrahl-Quelle 1 zu überwachen.

Um die Größe des Fleckes des Röntgenstrahlenbündels weiter zu begrenzen, um den Röntgenstrahl in den zentralen Bereich des Fleckes des Röntgenstrahlenbündels auf den Detektor 7 zu strahlen, um dadurch einen kleinen Strahlenbündelfleck und eine höhere Röntgenstrahl-Energiedichte zu erhalten, kann ein einziges bzw. einzelnes Führungsrohr 10 oder eine Apertur 12 nach der monolithischen kapillaren fokussierenden Röntgenstrahl-Linse 2 hinzugefügt werden, um ein Röntgenstrahl-Fluoreszenzspektrometer mit einer Linse und einer Kapillare oder einer Kombination einer Linse und einer Apertur zu bilden.

Gemäß Fig. 17 besteht ein Röntgenstrahl-Diffraktometer, das die monolithische Röntgenstrahl-Linse für einen quasi paralleles Strahlenbündel umfaßt, aus einer Röntgenstrahl-Quelle 1, einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse 2 für einen quasi parallelen Strahl, einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse 2' zur Fokussierung eines quasi parallelen Strahlenbündels, einem Detektor 7, einer Probe 13, einem Vorverstärker 15, einem Hauptverstärker 16, einer Puls-Analyseinrichtung 21, einer Skaliereinrichtung 22, einer Raten-Meßeinrichtung 18, einem Goniometer 23 bzw. einem Winkelmesser, einem Steuersystem 24 für die Röntgenstrahl-Quelle, einer Hochspannungsquelle 25 für die Röntgenstrahl-Quelle 1, einem Computer 26, einer Energieversorgung 20, einer Hochspannungsquelle für den Detektor 19 etc. Der von der Röntgenstrahl-Quelle 1 emittierte Röntgenstrahl wird durch die monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse 2 zur Bildung des quasi parallelen Strahlenbündels 6, das auf die Probe 13 gestrahlt wird, gesammelt. Das von der Probe 13 erzeugte, quasi parallel gebeugte Strahlenbündel 27 fällt in die monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse 2', die es fokussiert und fällt dann auf den Detektor 7. Das von dem Detektor 7 ausgesendete Signal wird dann nach einer zweistufigen Verstärkung durch den Vorverstärker 15 und den Hauptverstärker 16 an die Puls-Analyseinrichtung 21 gesendet. Auf einem Weg wird das durch die Puls-Analyseinrichtung 21 erzeugte Signal zur Skaliereinrichtung 22 gesendet und durch die Raten-Meßeinrichtung 18 registriert. Auf dem anderen Weg wird dieses Signal zum Computer 26 zur Verarbeitung gesendet. Sowohl das Goniometer 23 als auch das Steu-

ersystem 24 für die Röntgenstrahl-Quelle werden durch den Computer 26 gesteuert.

Gemäß Fig. 18 weist eine Röntgenstrahl-Lithographieeinrichtung zum Lithographieren im Submikrometerbereich (0,1 bis 0,3 Mikrometer), die die monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse zur Erzeugung eines quasi parallelen Strahlenbündels verwendet, eine weiche Röntgenstrahl-Quelle 1, eine monolithische Röntgenstrahl-Linse 2 zur Erzeugung eines quasi parallelen Strahlenbündels, Masken 28, Maskenmuster 29, eine Scheibe bzw. Halbleiterscheibe 13, eine Vakuumkammer 30, eine Belichtungskammer 31, eine Resistschicht 34, einen Linsenhalter 33, ein Vakuumfenster 32 usw. auf. Der von der weichen Röntgenstrahl-Quelle 1 ausgesendete Röntgenstrahl 5 (der Auffangwinkel beträgt $\pm 5^\circ$ bis $\pm 15^\circ$) tritt in die monolithische Röntgenstrahl-Linse 2 zur Erzeugung eines quasi parallelen Strahlenbündels ein. Der Sammelwinkel der Linse 2 ist um eine oder mehr Größenordnungen größer als derjenige von bekannten Röntgenstrahlen-Lithographieeinrichtungen. Der Röntgenstrahl wird nach seinem Eintritt in die Linse 2 an den Wänden der Kapillaren der Kanäle vielfach total reflektiert. Schließlich wird ein quasi paralleles Strahlenbündel von weichen Röntgenstrahlen, das einen relativ gleichmäßig großen Beleuchtungsbereich bzw. Belichtungsbereich aufweist, gebildet und ausgesendet. Dieses wird durch die auf dem Stepper angeordnete Maske 28 übertragen, wenn es am Stepper ankommt. Dadurch wird das Muster 29 der Maske 28 auf die Resistschicht 34 auf der Scheibe 13 übertragen. Auf diese Weise wird ein Belichtungsverfahren für eine Lithographie mit einer Tiefe im Submikrometerbereich ausgeführt.

Die vorliegende Erfindung umfaßt die folgenden Vorteile:

- 1) Der Herstellungsschritt ist einfach, zeitsparend und kann bei niedrigen Kosten ausgeführt werden, weil die vorliegende Linse direkt gezogen wird.
- 2) Da diese Linse ein einziges Festkörperteil ohne irgendwelche Trägereile ist, ist es kompakt und besitzt es eine miniaturisierte Struktur und eine große mechanische Festigkeit. Außerdem ist die Linse bequem anwendbar und erschwinglich.
- 3) Da der Aufbau der Struktur der monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse vernünftig ist, ist ihr Öffnungsbereich groß, ist ihr Volumen klein und ist ihr Sammelwinkel für den von der Röntgenstrahl-Quelle emittierten Röntgenstrahl groß. Aus diesem Grunde ist der Wirkungsgrad der Übertragung des Röntgenstrahles groß und besitzt die Linse eine gute Fokussierwirkung.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse 2, bei dem ein hohles rohes Glasrohr in einem Heizofen durch eine Ziehrichtung zu Monokapillaren gezogen wird. Die Monokapillaren werden in einer symmetrischen Form gestapelt, um ein Mehrfachbündel zu bilden. Das Mehrfachbündel wird in den Heizofen zugeführt, um es mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit oder einer variablen Geschwindigkeit zu erhitzen. Das Mehrfachbündel wird durch eine Ziehrichtung mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit und einer variablen Geschwindigkeit gezogen, um einen ersten integrierten Linsenblock zu bilden. Der monolithische Linsenblock wird auf die gewünschte Form entsprechend seiner Anwendung geschnitten, um die erste monolithi-

sche kapillare Röntgenstrahl-Linse 2 zu bilden. Eine nach diesem Verfahren hergestellte monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse 2 umfaßt eine Mehrzahl von Röntgenstrahl-Kanälen 9, die von einem Ende zum anderen Ende verlaufen. Die Linse 2 weist die Form eines einzigen Glas-Festkörpers auf, der durch Verschmelzen der Wände der Röntgenstrahl-Kanäle 9 mit sich selbst gebildet wird. Ein Röntgenstrahl-Diffraktometer, das eine solche Linse 2 anwendet weist eine Röntgenstrahl-Quelle 1, eine Probe 13, einen Detektor 7, eine Hochspannungsquelle 25, einen Verstärker 15, 16, eine Puls-Analysiereinrichtung 21, eine Skaliereinrichtung 22, eine Raten-Meßeinrichtung 18, einen Computer 26, ein Steuersystem 24 für die Röntgenstrahl-Quelle 1 und ein Goniometer 23 auf. Dabei wird die monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse 2 zwischen der Röntgenstrahl-Quelle 1 und der Probe 13 und/oder zwischen der Probe 13 und dem Detektor 7 angeordnet.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- 1) Ziehen eines hohlen rohen Glasrohres zu Monokapillaren in einem Heizofen durch eine Ziehrichtung.
- 2) Stapeln von Monokapillaren in eine symmetrische Form zur Bildung eines Mehrfachbündels.
- 3) Zuführen des Mehrfachbündels in den Heizofen um es bei einer gleichmäßigen Geschwindigkeit oder einer variablen Geschwindigkeit zu erhitzen.
- 4) Ziehen des Mehrfachbündels durch einen Ziehturm mit einer gleichmäßigen und einer variablen Geschwindigkeit zur Bildung eines ersten integralen Linsenblockes.
- 5) Schneiden des monolithischen Linsenblockes auf eine gewünschte Form entsprechend der Anwendung, um die erste monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse (2) zu bilden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt 1) die folgenden Schritte umfaßt:

- a) Manuelles Blasen oder mechanisches Ziehen von hohlen Röhren mit einem Durchmesser von 10 mm bis 40 mm unter Verwendung eines Glases aus der Borglas-Gruppe als rohe Röhren zur Herstellung der monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse.
- b) Zuführen der gereinigten rohen Röhren in einen Heizofen mit einer Temperatur von 750°C bis 950°C mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von 1 mm bis 30 mm pro Minute und kontinuierliches Ziehen der Röhren mit einer Ziehmaschine bei einer Geschwindigkeit von 1 mm bis 5 m pro Minute zu Monokapillaren mit einem Durchmesser von 0,3 mm bis 2 mm, die im folgenden nach dem Schneiden auf eine feste Länge als "einzelne Führungskapillare" bezeichnet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt 3) die folgenden Schritte umfaßt:

- a) Anordnen des ersten Mehrfachbündels in der Hochtemperaturzone eines Heizofens mit einer Temperatur von 750°C bis 950°C und

- Halten des Mehrfachbündels in dieser Zone, um einen Tropfen des Bündels zu erhalten, Absenken der Temperatur und Einschalten des Zufuhrmechanismus und einer Winde nach dem Ziehen des geschmolzenen Tropfens des Bündels zu den Ziehrollen. 5
- b) Zuführen des ersten Mehrfachbündels in den Ofen mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von 1 mm bis 30 mm pro Minute.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt 4) die folgenden Schritte umfaßt: 10
- a) Ausführen des Ziehens mit einer variablen Geschwindigkeit und des Zuführens mit einer gleichmäßigen oder variablen Geschwindigkeit unter Anwendung verschiedener variabler Geschwindigkeiten (z. B. einer gleichmäßigen Beschleunigung, Bremsung usw.) in dem oben genannten Bereich der Geschwindigkeiten gemäß der Anforderung an das Profil und die Größe der Linse (2), um Kombinationen von Segmenten von Kegelschnitten oder Kombinationen von Segmenten von Kegelschnitten und geraden Linien zu bilden. 20
- b) Erneutes Zuführen und Ziehen bei einer gleichmäßigen Geschwindigkeit in dem Bereich der oben genannten Geschwindigkeiten, um Segmente von geraden Linien zu bilden, wobei ein Block einer ersten monolithischen Röntgenstrahlen-Linse für ein quasi paralleles Strahlenbündel nach der Ausführung der oben genannten Schritte erhalten werden kann. 30
- c) Ziehen des Blockes in der umgekehrten Richtung, um eine erste monolithische kapillare fokussierende Röntgenstrahl-Linse zu erhalten. 35
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Bündel bei einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von 1 mm bis 5 m pro Minute durch die Winde zu Multikapillaren gezogen werden. 40
6. Verfahren zur Herstellung einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse mit den folgenden Schritten:
- 1) Ziehen eines hohlen, rohen Glasrohres zu einer Monokapillaren in einem Heizofen durch eine Zieheinrichtung. 45
- 2) Stapeln von Monokapillaren in einer symmetrischen Form zur Bildung eines ersten Mehrfachbündels. 50
- 3) Ziehen des oben genannten ersten Mehrfachbündels mit demselben Verfahren des Schrittes 1) zur Bildung einer Mehrfachkanal-Kapillare eines kleineren Durchmessers oder eines Durchmessers über den Seiten, die als zweite Mehrfachkapillaren bezeichnet werden. 55
- 4) Bilden eines zweiten Mehrfachbündels durch Anwenden des Verfahrens des Schrittes 2) mit den ersten Mehrfachkapillaren. 60
- 5) Zuführen des zweiten Mehrfachbündels in den Heizofen, um es mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit oder einer variablen Geschwindigkeit zu erhitzen.
- 6) Ziehen des zweiten Mehrfachbündels durch eine Zieheinrichtung mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit und einer variablen Geschwindigkeit zur Bildung eines zweiten inte-

- grierten monolithischen Linsenblockes.
- 7) Schneiden des zweiten monolithischen Linsenblockes in eine gewünschte Form gemäß der Verwendung, um eine monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse (2) zu bilden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Schritt 1) die folgenden Schritte umfaßt:
- a) Manuelles Blasen oder mechanisches Ziehen von hohlen Röhren mit einem Durchmesser von 10 mm bis 40 mm unter Verwendung eines Glases aus der Borglas-Gruppe in der Form als rohe Röhren zur Herstellung einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse (2).
- b) Zuführen der gereinigten rohen Röhren in einen Heizofen bei 750°C bis 950°C mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von 1 mm bis 30 mm pro Minute und kontinuierliches Ziehen der Röhren mit einer Ziehmaschine bei einer Geschwindigkeit von 1 mm bis 5 m pro Minute zu Monokapillaren mit einem Durchmesser von 0,3 mm bis 2 mm, die nach dem Schneiden auf eine feste Länge als "einzelne Führungskapillaren" bezeichnet werden.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt 3) die folgenden Schritte umfaßt:
- a) Anordnen des ersten Mehrfachbündels in der Hochtemperaturzone eines Heizofens mit einer Temperatur von 750°C bis 950°C und Halten des Bündels in dieser Zone, um das Bündel zum Tropfen zu bringen, Absenken der Temperatur und Einschalten des Zufuhrmechanismus und der Winde nach dem Ziehen des geschmolzenen Tropfens des Bündels zu den Ziehrollen.
- b) Zuführen des ersten Mehrfachbündels in den Ofen mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von 1 mm bis 30 mm pro Minute.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchmesser oder der Durchmesser über die Seiten der Mehrfachkanal-Kapillaren 0,4 mm bis 4 mm beträgt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt 6) die folgenden Schritte umfaßt:
- a) Ausführen des Ziehens mit einer variablen Geschwindigkeit und des Zuführens mit einer gleichmäßigen oder variablen Geschwindigkeit unter Anwendung verschiedener variabler Geschwindigkeiten (z. B. einer gleichmäßigen Beschleunigung, Bremsung usw.) in dem oben genannten Bereich der Geschwindigkeiten gemäß der Anforderung an das Profil und die Größe der Linse, um Kombinationen von Segmenten von Kegelschnitten oder Kombinationen von Segmenten von Kegelschnitten und geraden Linien zu bilden.
- b) Wiederholtes Zuführen und Ziehen mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit in dem oben genannten Geschwindigkeitsbereich, um Segmente von geraden Linien zu bilden, wobei ein Block der zweiten monolithischen Röntgenstrahl-Linse (2) für ein quasi paralleles Strahlenbündel erhalten wird, nachdem die oben genannten Schritte ausgeführt wurden.
- c) Ziehen des Blockes in der umgekehrten Richtung, um einen Block der zweiten monoli-

thischen kapillaren fokussierende Röntgenstrahl-Linse (2) zu erhalten.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß Bündel zu Mehrfachkapillaren mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von 1 mm bis 5 m pro Minute durch die Winde gezogen werden. 5
12. Verfahren nach Anspruch 1 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß beim Schritt 2) die einzelnen Führungskapillaren oder die zusammengesetzten Kapillaren dicht in einem Glasrohr gestapelt werden, das dieselbe Form wie das Mehrfachbündel aufweist, oder daß Glasfasern derselben Größe wie die Kapillaren um den Umfang beim Stapeln des Mehrfachbündels, gestapelt werden, um ein Mehrfachbündel mit einer Umhüllung (8) zu bilden. 10
13. Verfahren nach einem der Schritte 6) bis 12), dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Schritt 1) und dem Schritt 6) das in den Schritten 2) bis 5) genannte Verfahren N mal entsprechend der Anwendung wiederholt wird, um eine (N + 2)te monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse (2) zu schaffen, wobei N eine positive ganze Zahl größer als 0 ist. 15
14. Monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse, hergestellt nach dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, gekennzeichnet durch eine Mehrzahl von Röntgenstrahl-Kanälen (9), die von einem Ende zu dem anderen Ende der Linse (2) verlaufen, wobei die Linse die Form eines einzigen Glas-Festkörpers aufweist, der durch Verschmelzen der Wände der Röntgenstrahl-Kanäle (9) miteinander gebildet ist. 20
15. Linse nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Erzeugende (40) des Längsprofils der Linse (2), die Profilerzeugenden (42) der Röntgenstrahl-Kanäle (9) und die Achsen (41) der Röntgenstrahl-Kanäle (9) annähernd Segmente von räumlichen Kegelschnitten, von Kombinationen von Segmenten von Kegelschnitten oder von Kombinationen von Segmenten von Kegelschnitten und geraden Linien sind und daß die radiale Anwendung der Erzeugenden (40) des Längsprofils der Linse (2) und der Profilerzeugenden (42) der Röntgenstrahl-Kanäle (9) in Bezug auf die imaginäre Röntgenstrahl-Achse (3) symmetrisch sind. 25
16. Linse nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt des Einfallsendes der Linse (2) und die Querschnitte der Röntgenstrahl-Kanäle (9) senkrecht zur Lichtachse (3) der Linse (2) gleichmäßige Polygone, Kreise oder Rechtecke sind und daß die Form des Querschnittes des Auslaßendes ähnlich derjenigen des Querschnittes des Einfallsendes ist. 30
17. Linse nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Linse eine starre Festkörperumhüllung (8) aufweist. 35
18. Linse nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Größen der Röntgenstrahl-Kanäle (9) an unterschiedlichen Positionen auf den Querschnitten senkrecht zur Röntgenstrahl-Achse (3) der Linse (2) unterschiedlich sind. 40
19. Linse nach einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Größen des Querschnittes an der Einfallsseite und des Querschnittes an der Auslaßseite der Linse (2) nicht größer als der maximale Querschnitt sind. 45
20. Linse nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand von der 50

- Röntgenstrahl-Quelle (1) zum Einfallsende der Linse (2) 10 mm bis 200 mm, der Abstand von dem Auslaßende der Linse (2) zu dem auf ein Minimum fokussierten Strahlenbündelfleck 10 mm bis 500 mm, die Länge der Linse (2) 25 mm bis 200 mm, die Größe des Einfallsendes (D_{in}) der Linse (2) 1 mm bis 30 mm, und die Größe des Auslaßendes (D_{out}) der Linse (2) 1 mm bis 35 mm betragen und daß der Öffnungsbereich größer als 5% ist.
21. Linse nach einem der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine einzige Führungskapillare (10) oder eine Apertur (12) nach der Linse (2) angeordnet ist, um eine Kombination der Linse (2) und der Führungskapillare (10) oder eine Kombination der Linse (2) und der Apertur (12) zu bilden, und daß die Röntgenstrahl-Achse (3) der einzigen Führungskapillare (10) oder die Mitte der Apertur (12) auf der imaginären Röntgenstrahl-Achse (3) der Linse (2) angeordnet ist.
 22. Linse nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Form der einzigen Führungskapillare (10) in Kombination mit der Linse (2) ein konisches bzw. kegelschnittförmiges Rohr ist oder durch zwei rotierende Teilellipsoide oder durch zwei rotierende Paraboloiden gebildet ist.
 23. Linse nach einem der Ansprüche 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Apertur (12) in Kombination mit der Linse (2) vorgesehen ist und daß die Apertur (12) aus einem Material aus mittleren oder schweren Elementen gebildet ist.
 24. Linse nach einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe des Einfallsendes der Linse (2) kleiner ist als diejenige des Auslaßendes und daß die Erzeugende (40) der Linse (2) am Auslaßende parallel zur imaginären Röntgenstrahl-Achse (3) der Linse (2) verläuft.
 25. Linse nach einem der Ansprüche 14 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Röntgenstrahl-Kanäle (9) der Linse (2) unterschiedliche Brennweiten besitzen.
 26. Linse nach einem der Ansprüche 14 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen der Röntgenstrahl-Quelle (1) und dem Einfallsende (D_{in}) der Linse (2) 10 mm bis 200 mm, der minimale Abstand von dem Einfallsende der Linse (2) zu dem Bereich der maximalen Größe der Linse (2) 10 mm bis 150 mm, die Länge der Linse (2) 10 mm bis 250 mm, die Größe des Einfallsendes (D_{in}) der Linse (2) 1 mm bis 35 mm und die Größe des Auslaßendes (D_{out}) der Linse (2) 2 mm bis 50 mm betragen und daß der Öffnungsbereich größer als 10% ist.
 27. Linse nach einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe des Auslaßendes (D_{out}) der Linse (2) kleiner ist als diejenige des Einfallsendes (D_{in}) und daß die Erzeugende (40) der Linse (2) am Einlaßbereich parallel zur imaginären Röntgenstrahl-Achse (3) verläuft.
 28. Linse nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe des Einfallsendes (D_{in}) der Linse (2) 2 mm bis 50 mm, die Größe des Auslaßendes (D_{out}) der Linse (2) 1 mm bis 35 mm, die Länge der Linse (2) 10 mm bis 250 mm, der minimale Abstand von dem Bereich der maximalen Größe der Linse (2) zu dem Auslaßende (D_{out}) der Linse (2) 10 mm bis 150 mm und der Abstand von dem Auslaßende (D_{out}) der Linse (2) zu dem auf einen minimalen Fleck fokussierten Strahlenbündel 10 mm bis 200 mm betragen und daß der Öffnungsbereich 55

größer als 10% ist.

29. Röntgenstrahl-Fluoreszenzspektrometer mit einer Linse nach einem der Ansprüche 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß eine Röntgenstrahl-Quelle (1), eine Probe (13), eine Röntgenstrahl-Linse (2), die zwischen der Röntgenstrahl-Quelle (1) und der Probe (13) angeordnet ist, ein Detektor (7), ein Verstärker (15, 16) und eine computergestützte Mehrfachanalysiereinrichtung (17) vorgesehen sind, wobei die Röntgenstrahl-Linse (2) die Form einer monolithischen kapillaren Röntgenstrahl-Linse (2) oder einer Kombination einer Röntgenstrahl-Linse (2) und einer Führungskapillare (10) oder einer Kombination einer Röntgenstrahl-Linse (2) und einer Öffnung (12) gemäß Anspruch 19 oder 21 ist.
30. Röntgenstrahl-Diffraktormeter mit einer Linse nach Anspruch 24 oder 27, dadurch gekennzeichnet, daß eine Röntgenstrahl-Quelle (1), eine Probe (13), ein Detektor (7), eine Hochspannungsquelle (25), ein Verstärker (15, 16), eine Puls-Analysiereinrichtung (21), eine Skaliereinrichtung (22), eine Raten-Meßeinrichtung (18), ein Computer (26), ein Steuersystem (24) für die Röntgenstrahl-Quelle (1) und ein Goniometer (23) vorgesehen sind, wobei eine monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse (2) gemäß Anspruch 24 oder 27 zwischen der Röntgenstrahl-Quelle (1) und der Probe (13) und/oder zwischen der Probe (13) und dem Detektor (7) angeordnet ist.
31. Röntgenstrahl-Lithographieeinrichtung zum Lithographieren im Submikrometerbereich mit einer Linse nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß eine Puls-Plasma-Strahlungsquelle (1), ein Stepper mit Masken (28) und Scheiben (13), eine Vakuum-Einrichtung (31), zugeordnete Energiequellen und Steuersysteme vorgesehen sind, wobei eine monolithische kapillare Röntgenstrahl-Linse (2) gemäß Anspruch 24 zwischen der Röntgenstrahl-Quelle (1) und dem Stepper angeordnet ist.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

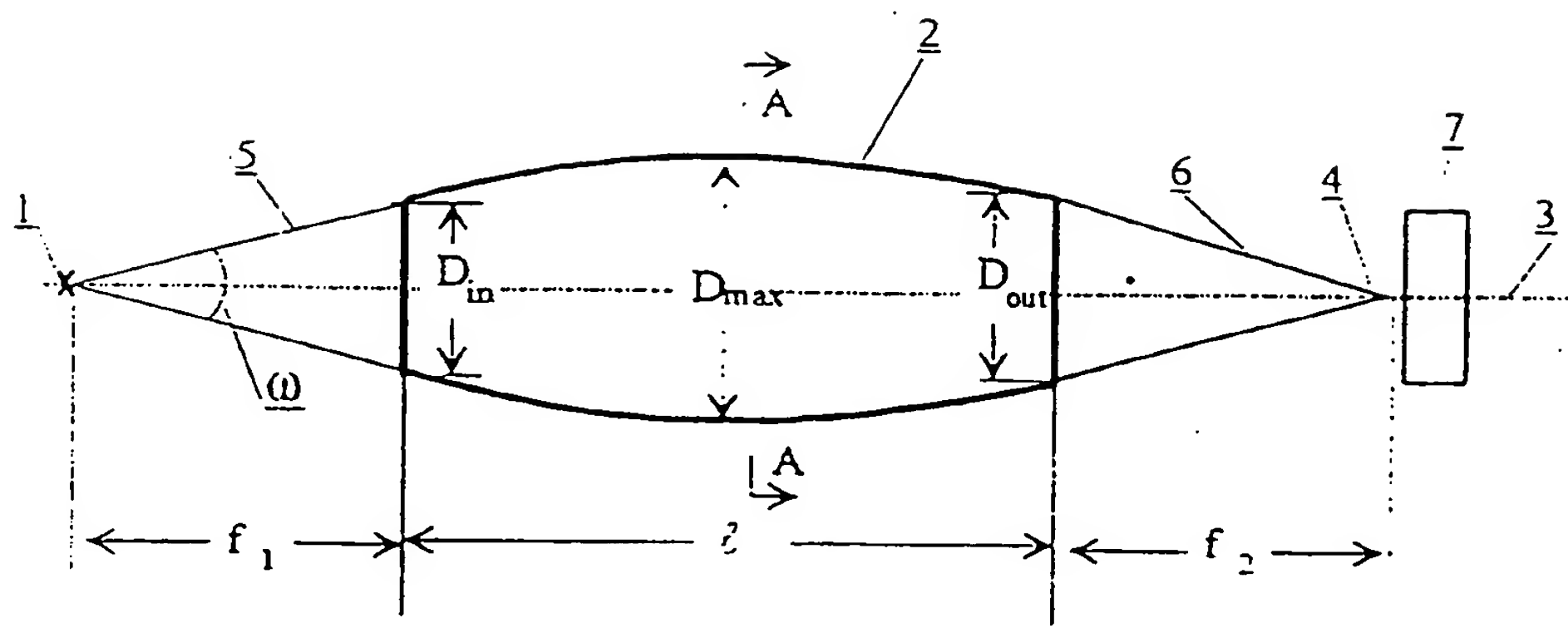


Fig. 1

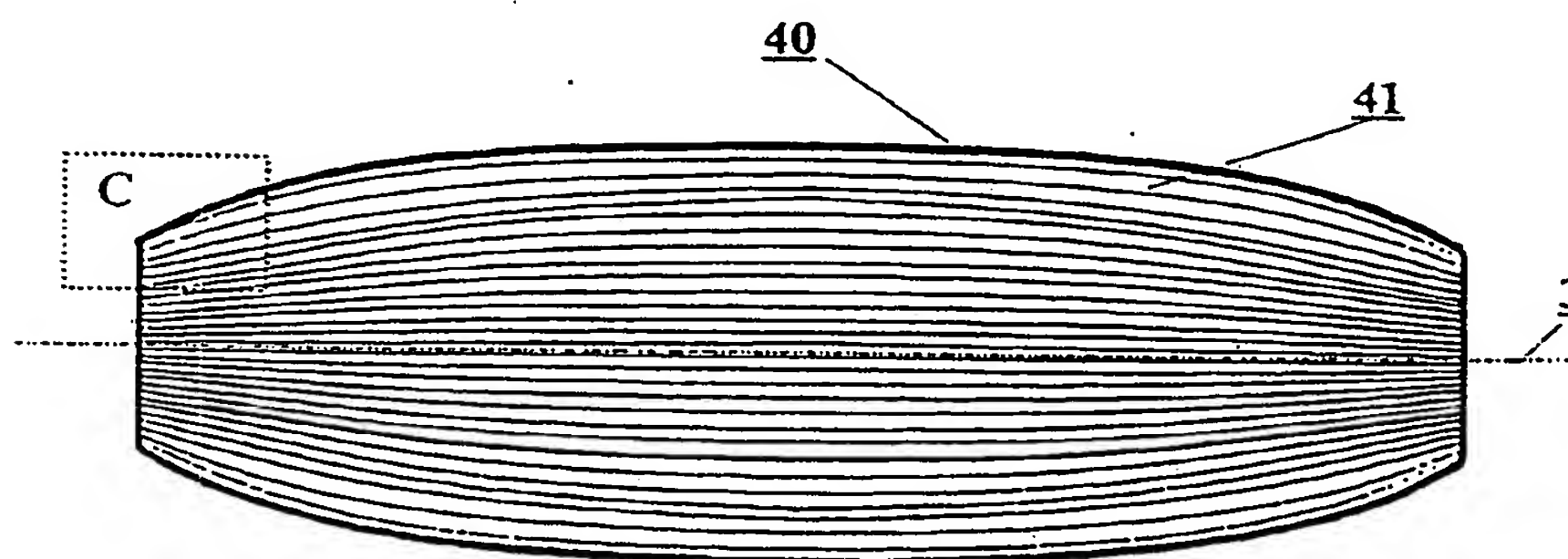


Fig. 2

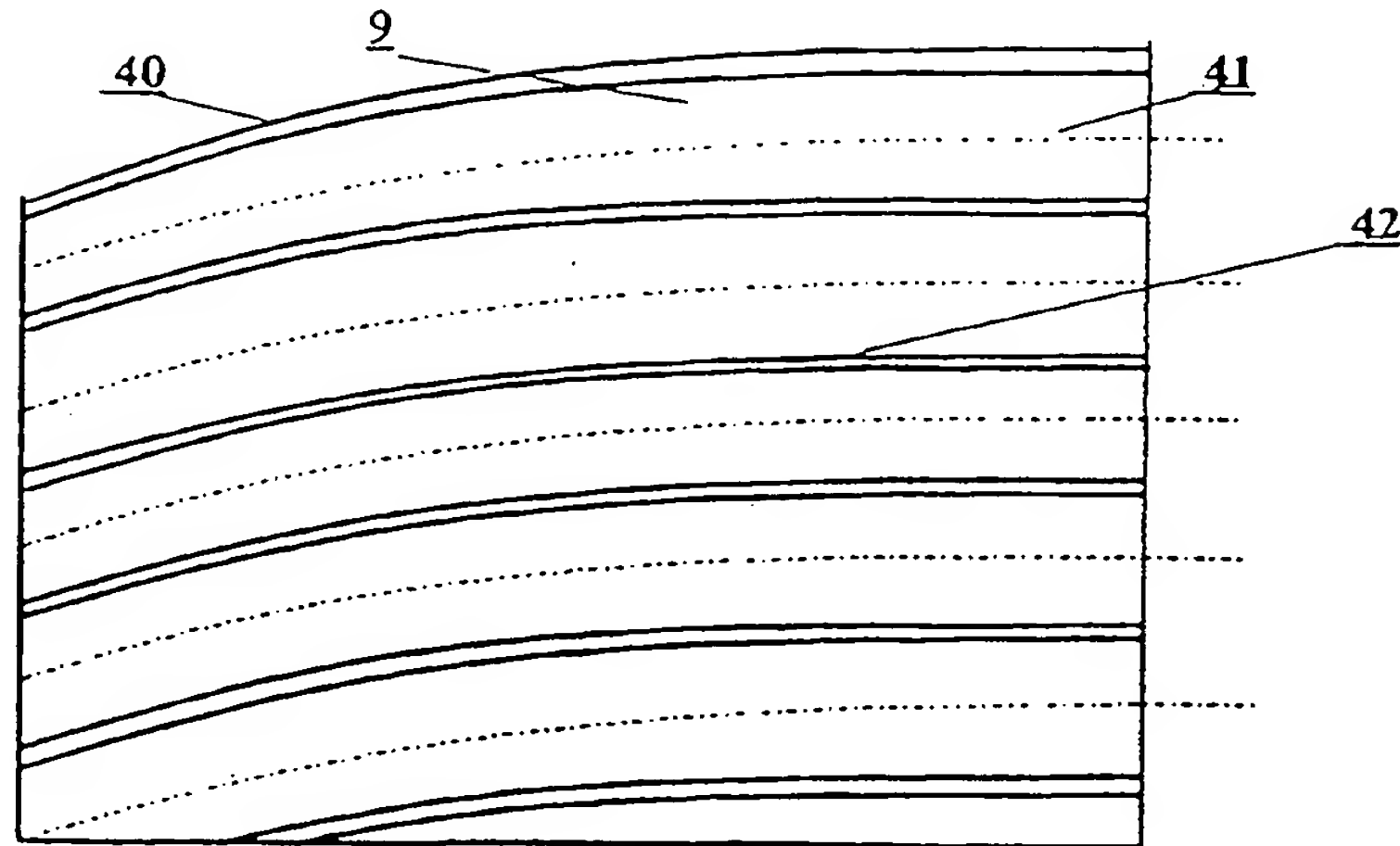


Fig. 3

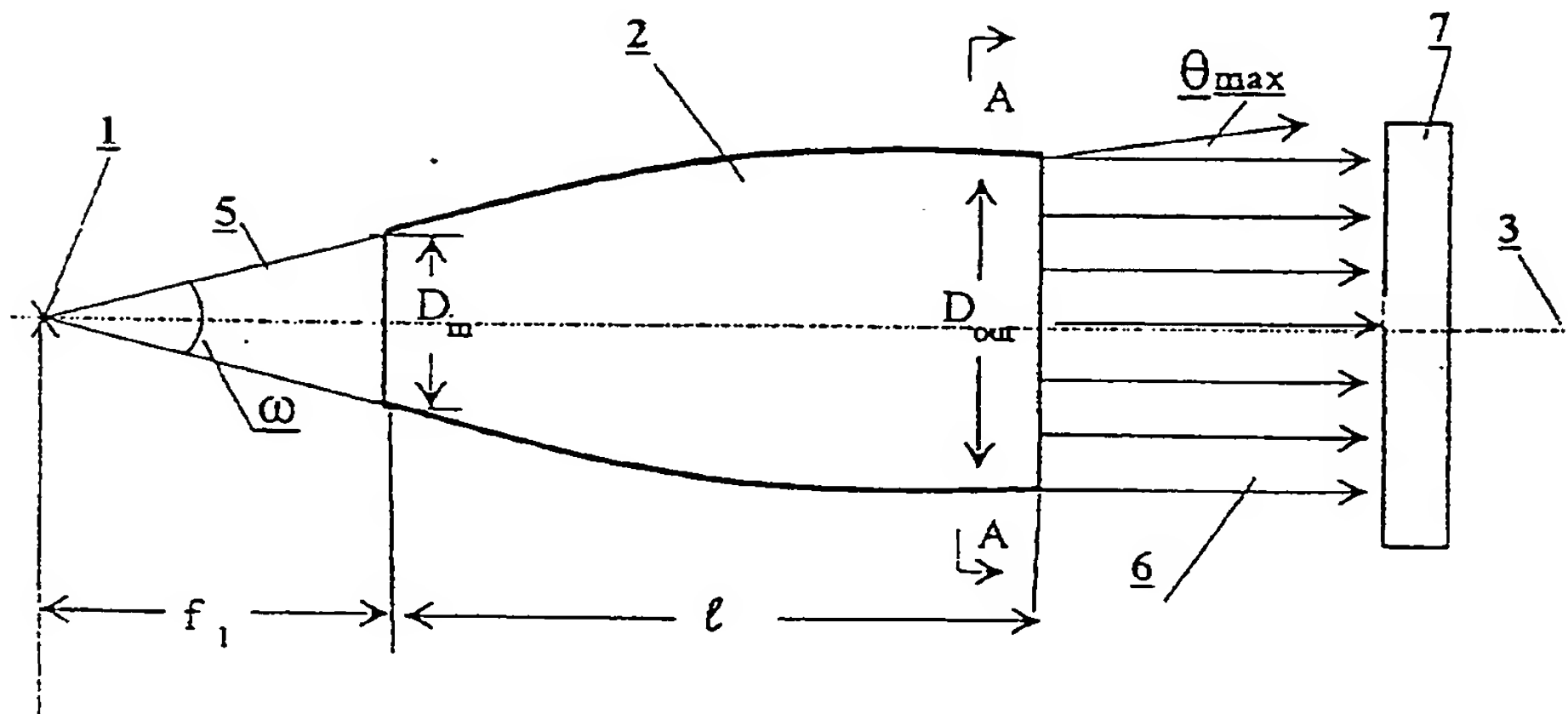


Fig. 4

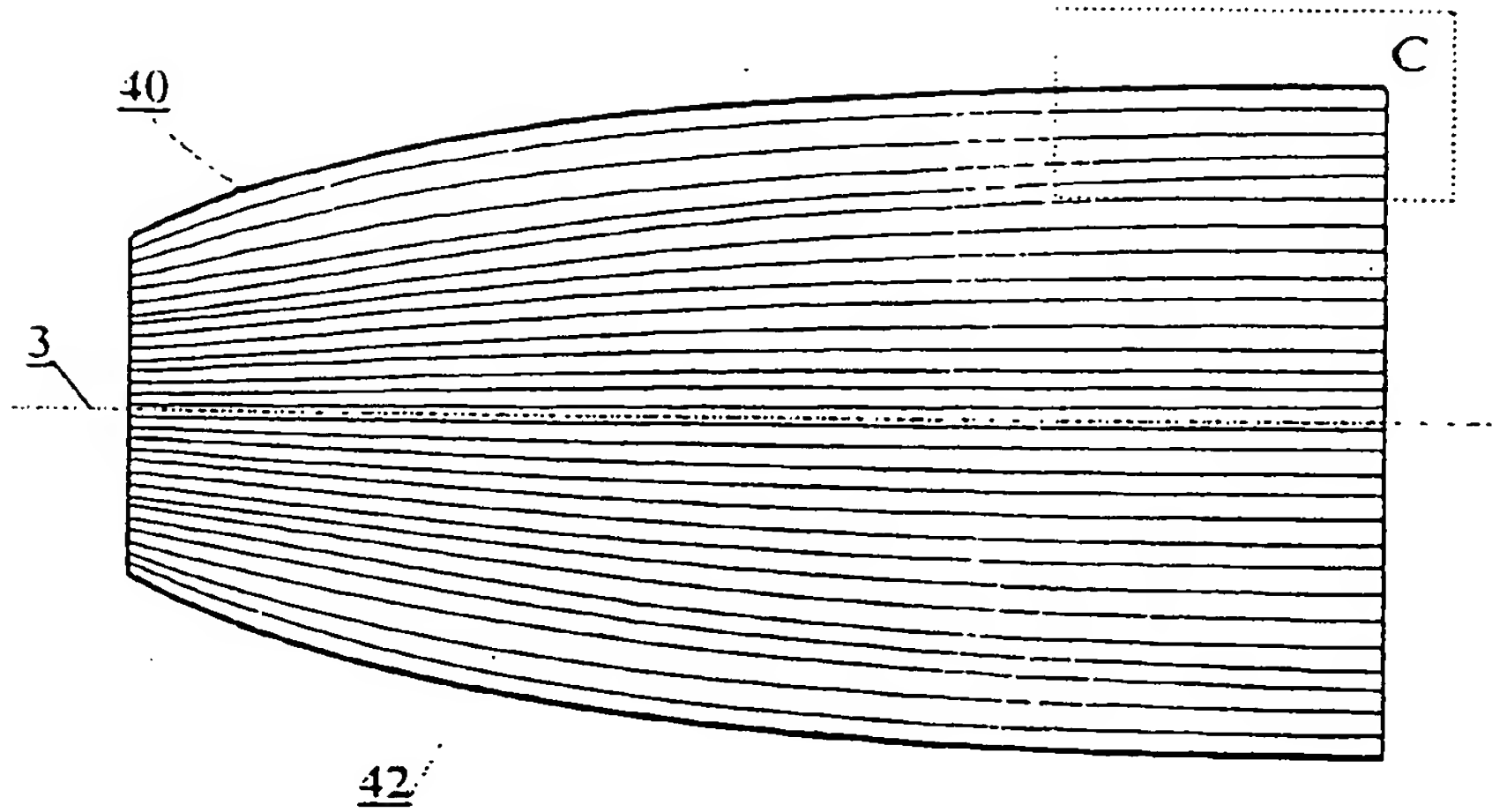


Fig. 5

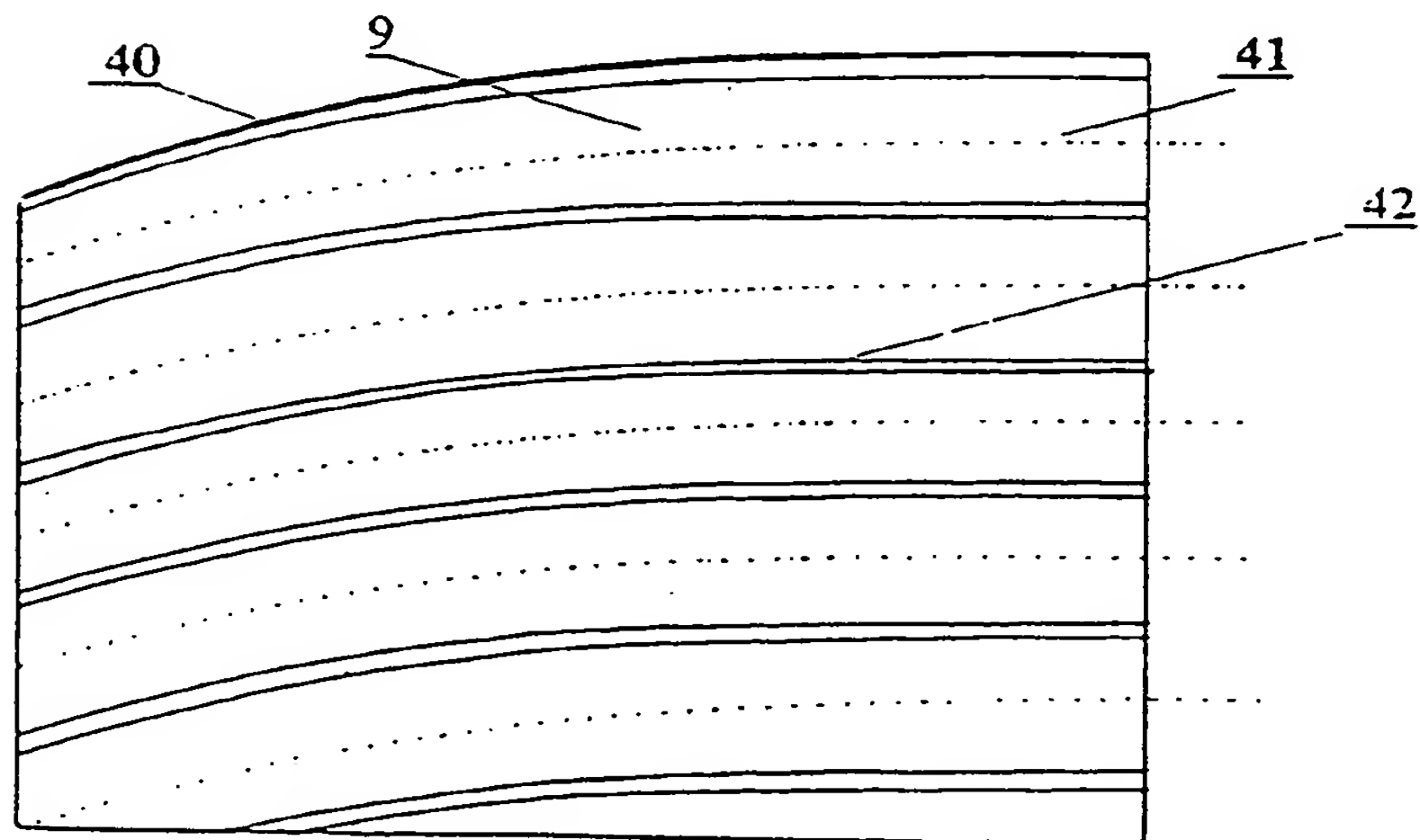


Fig. 6

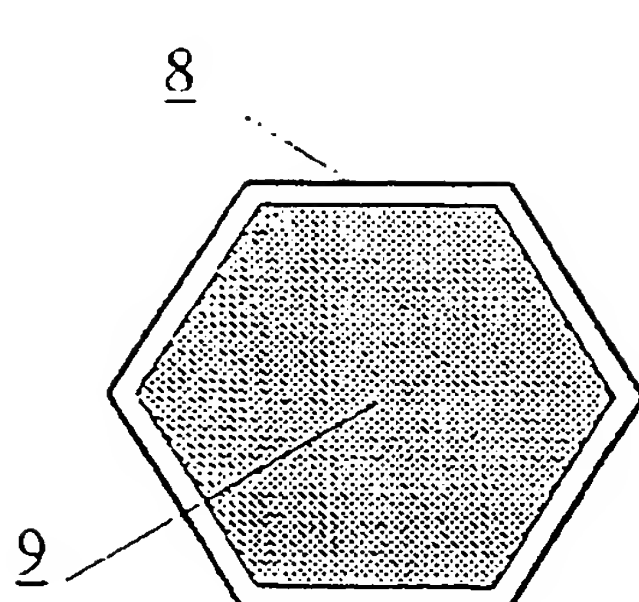


Fig. 7

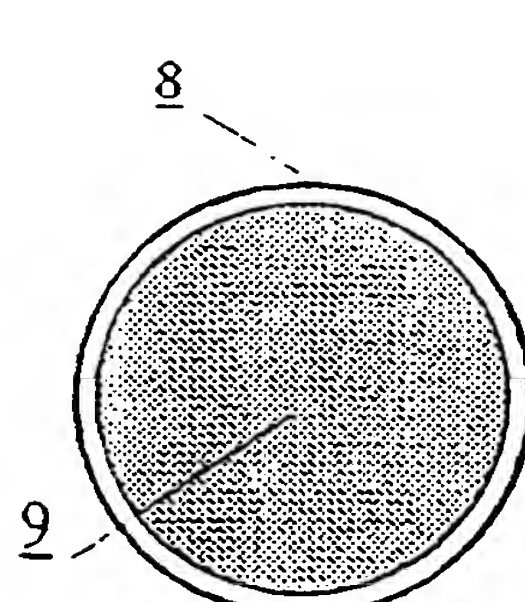


Fig. 8

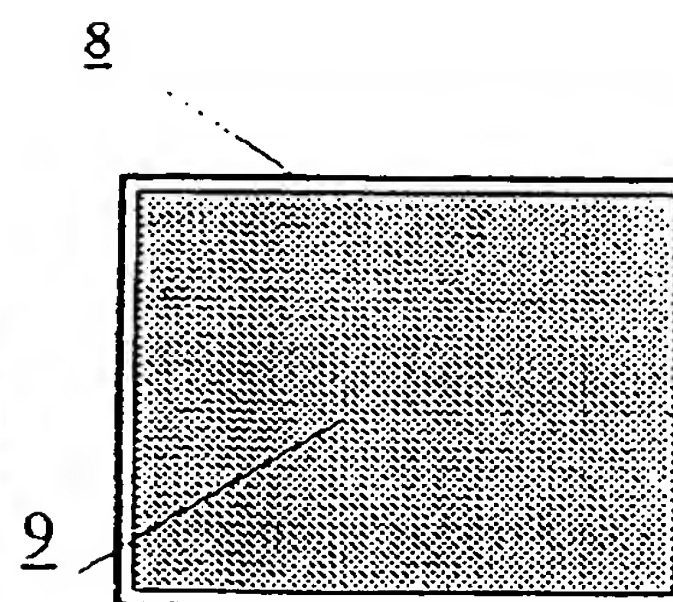


Fig. 9

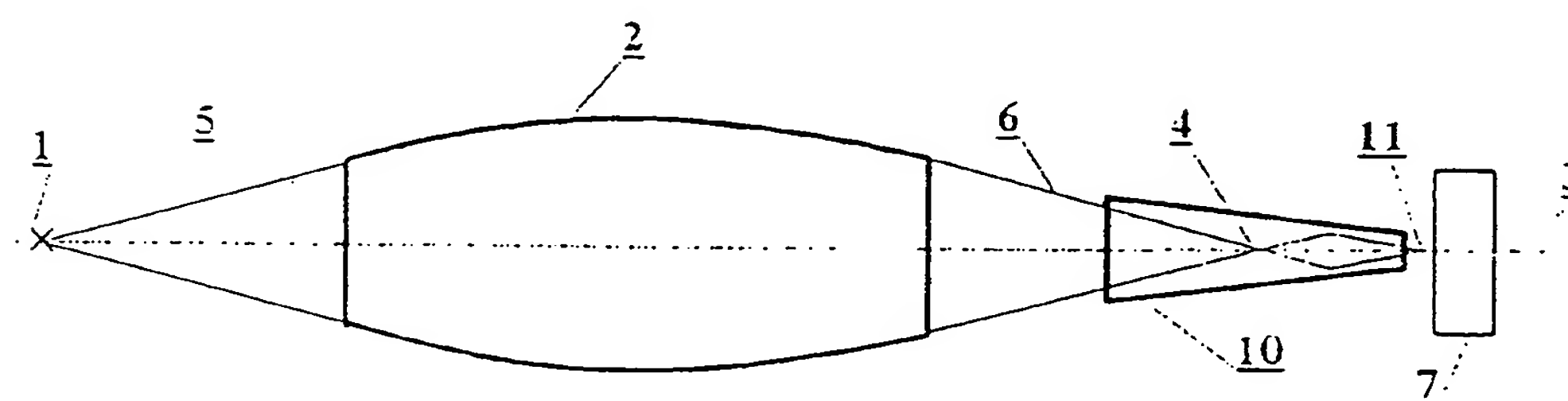


Fig. 10

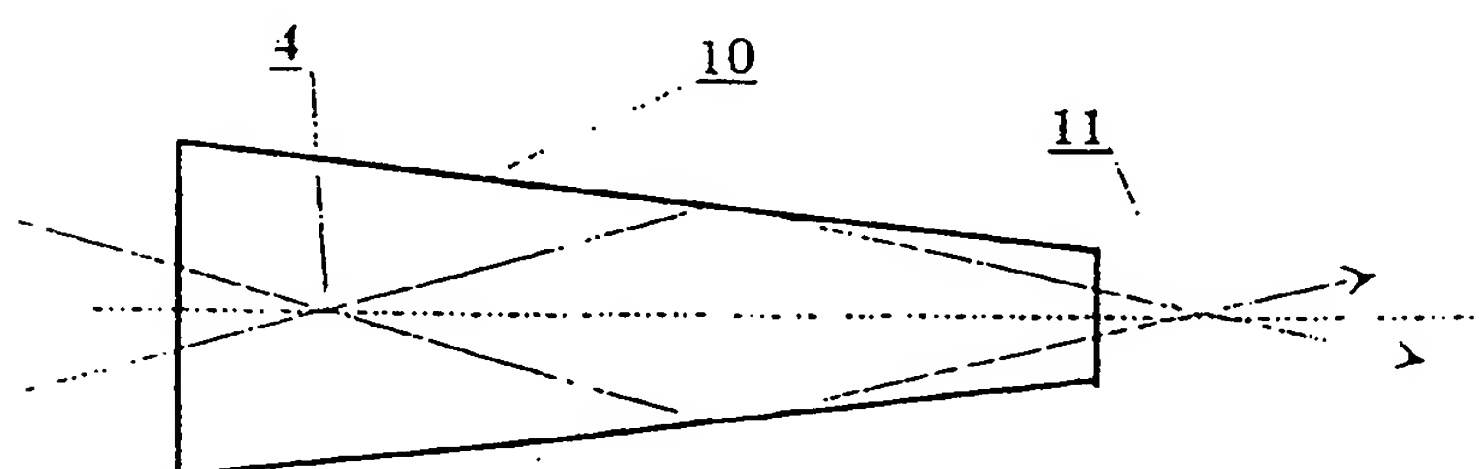


Fig. 11

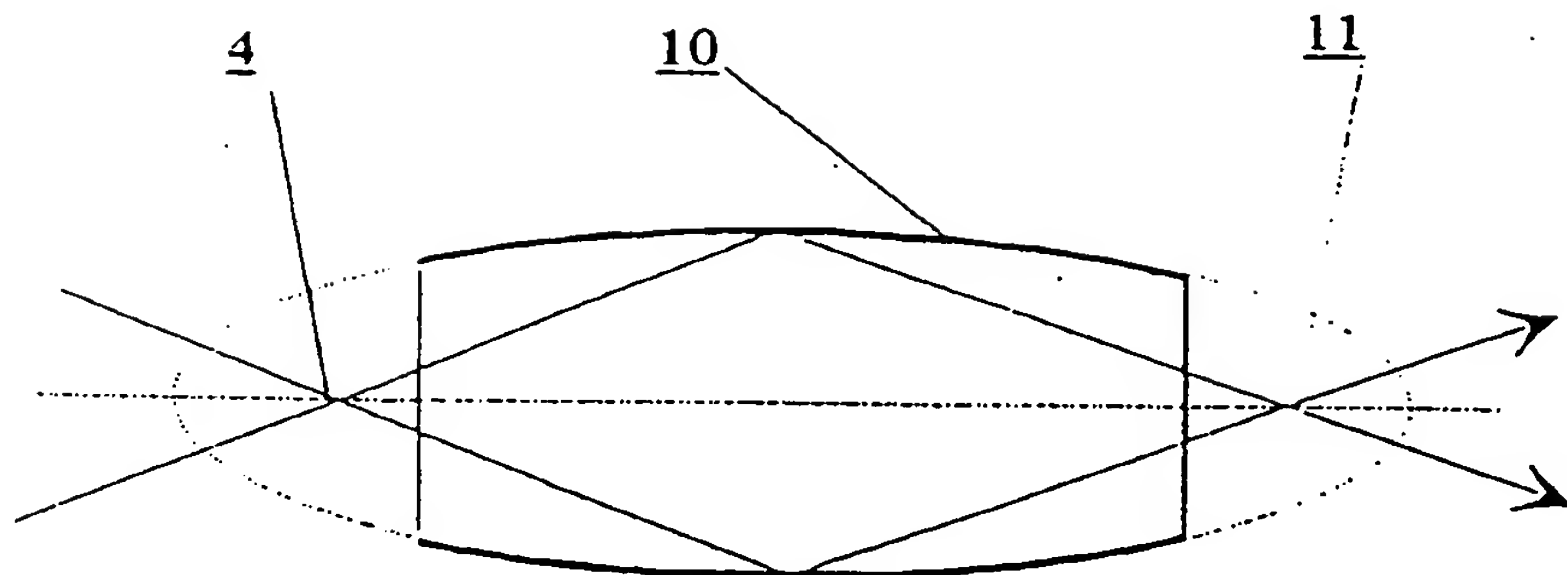


Fig. 12

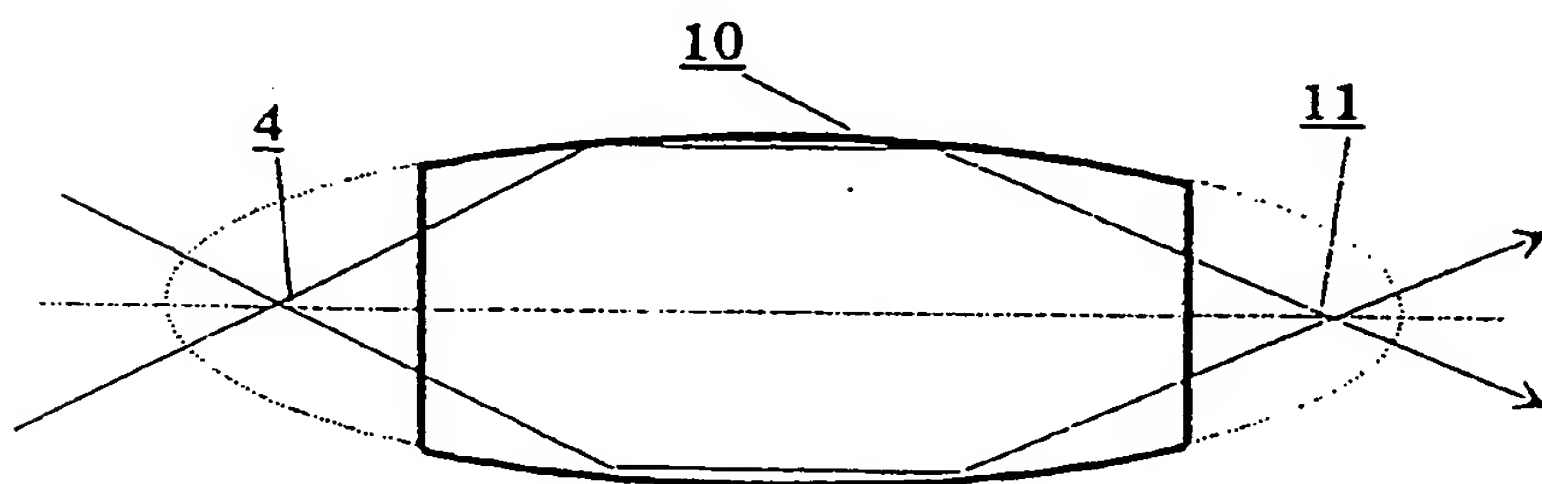


Fig. 13

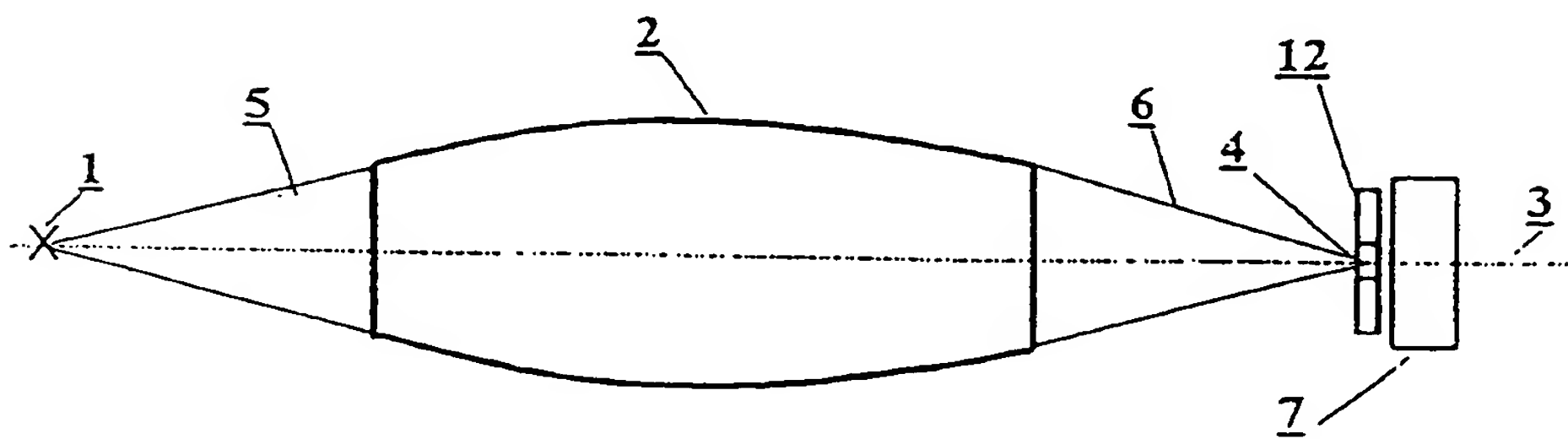


Fig. 14

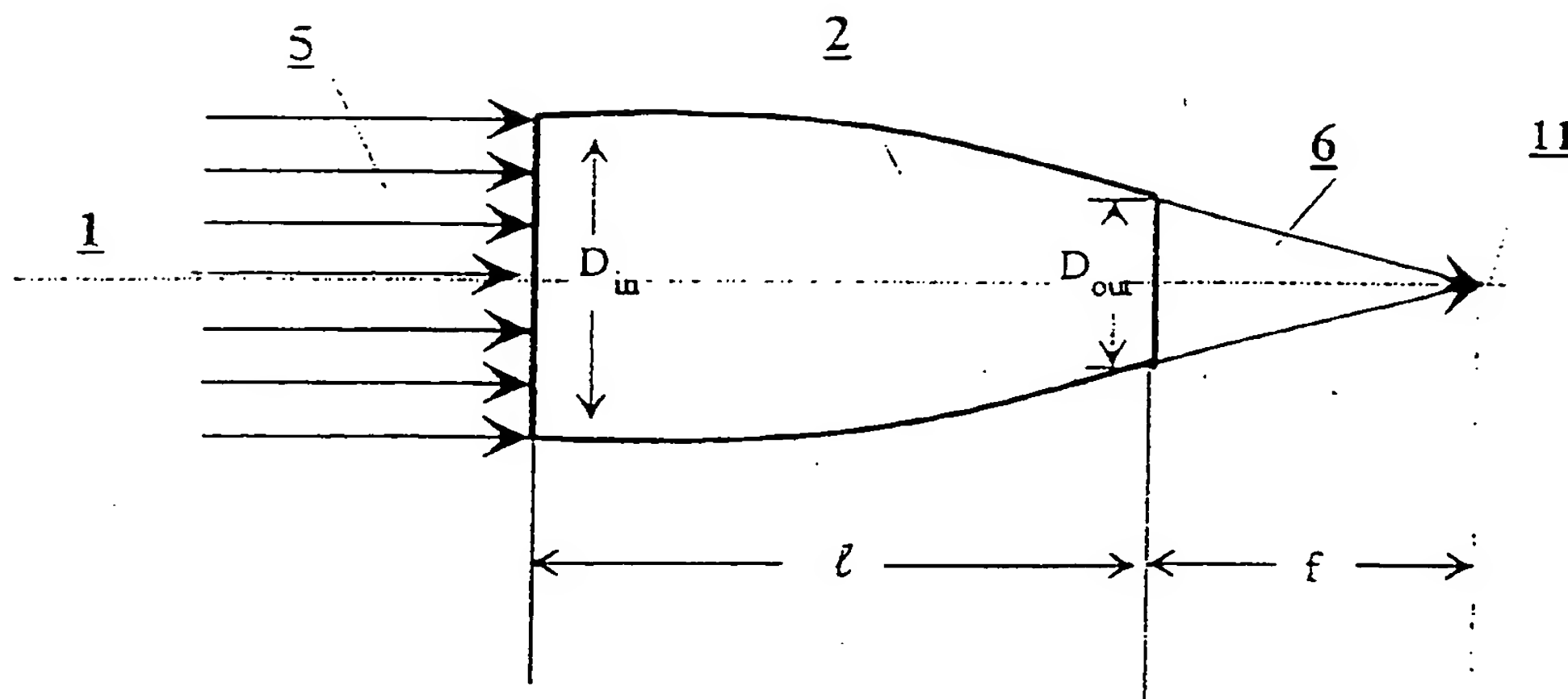


Fig. 15

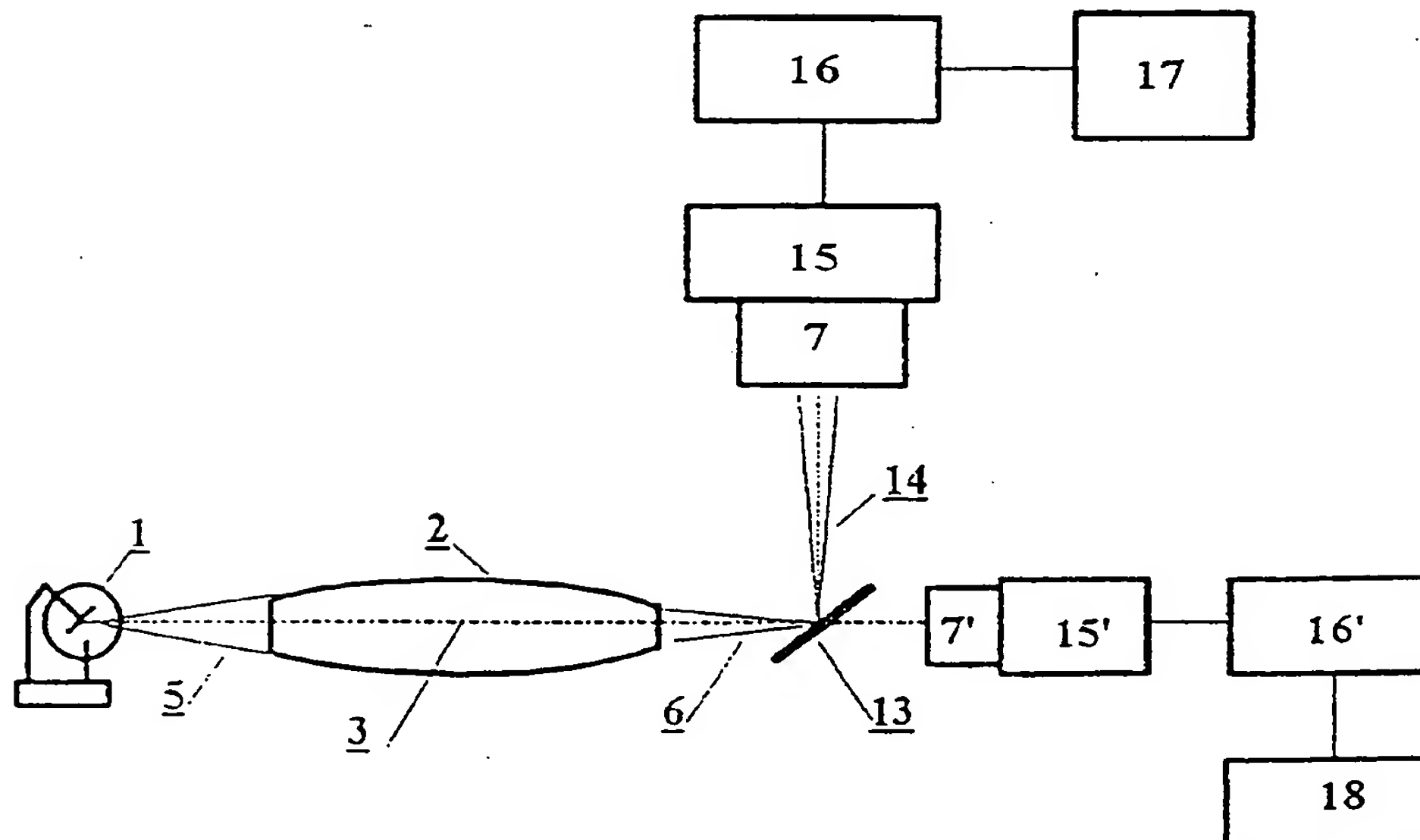


Fig. 16

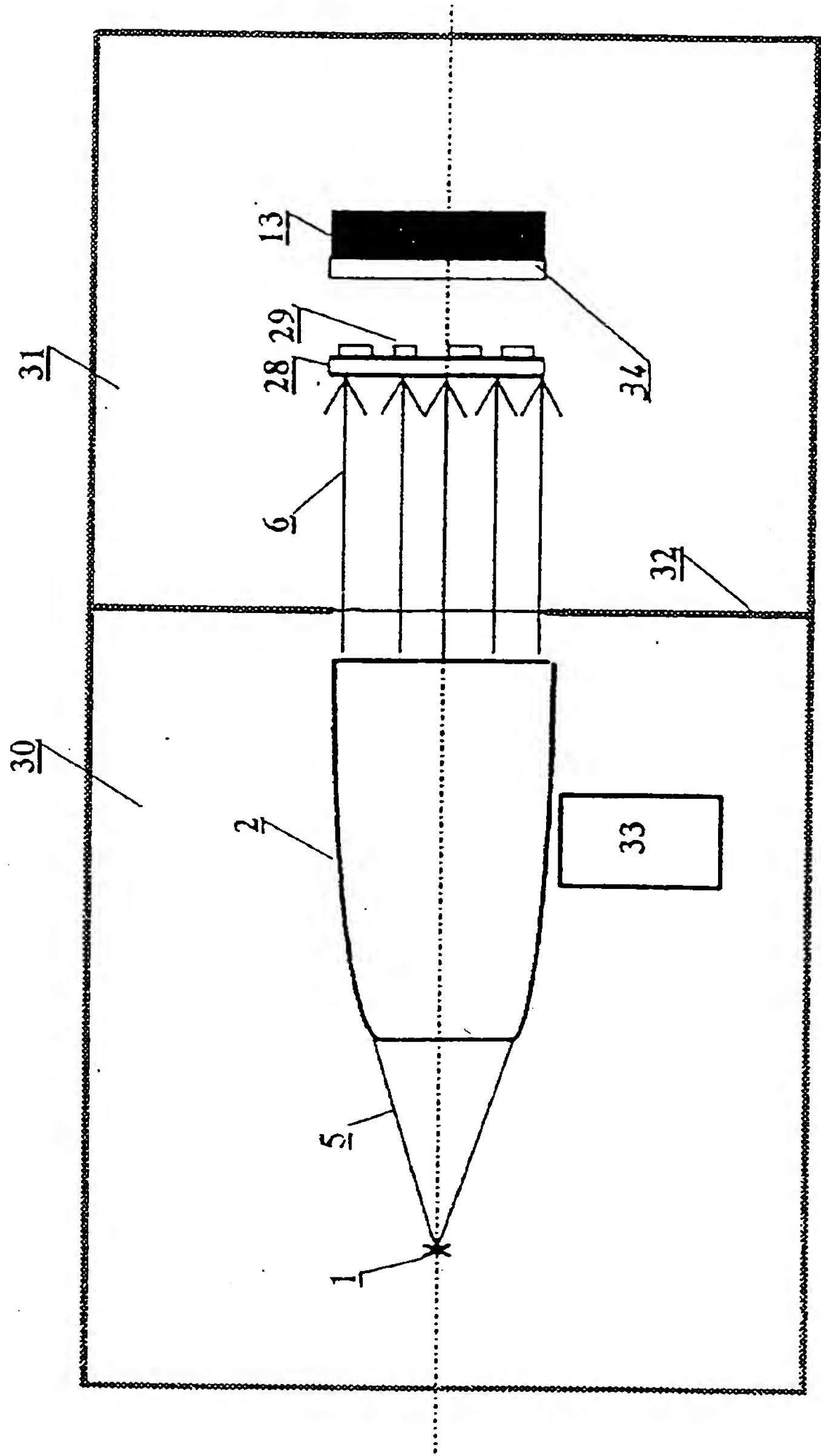


Fig. 18